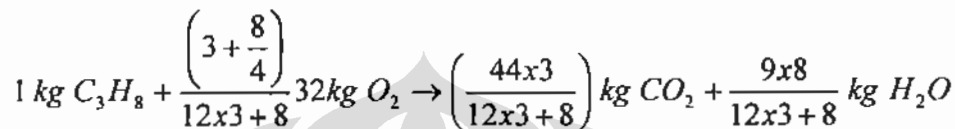


BAB IV

ANALISIS HASIL PENELITIAN

4.1 PEMBAKARAN STOKIOMETRI

Untuk pembakaran bahan bakar 1 kg propana (C_3H_8) secara stokiometri diperlukan oksigen sebesar (persamaan 2.2) :



Atau,



Maka untuk pembakaran 1 kg propana (C_3H_8) diperlukan oksigen sebesar 3,64 kg atau udara sebesar :

$$\begin{aligned} m_a &= \frac{100}{23} \times 3,64 \\ &= 15,83 \text{ kg udara} \end{aligned}$$

Sehingga $(AFR)_{\text{stokiometri}}$ untuk bahan bakar propana (C_3H_8) = 15,83

4.2 ANALISIS PENELITIAN TAHAP PERTAMA

Analisis penelitian tahap pertama (tanpa injeksi udara) dilakukan untuk mengetahui pengaruh **Reynolds number propana pada ujung nozel** terhadap jarak *lifted flame*, tinggi dan panjang nyala api difusi, temperatur ujung nozel dan kecepatan pembakaran (*burning velocity*).

Dari data tabel III.3. dan sebagai contoh perhitungan digunakan data eksperimen ke tiga tanpa injeksi udara, diperoleh panjang nyala api difusi dan *Reynolds number* pada ujung nozel sebagai berikut :

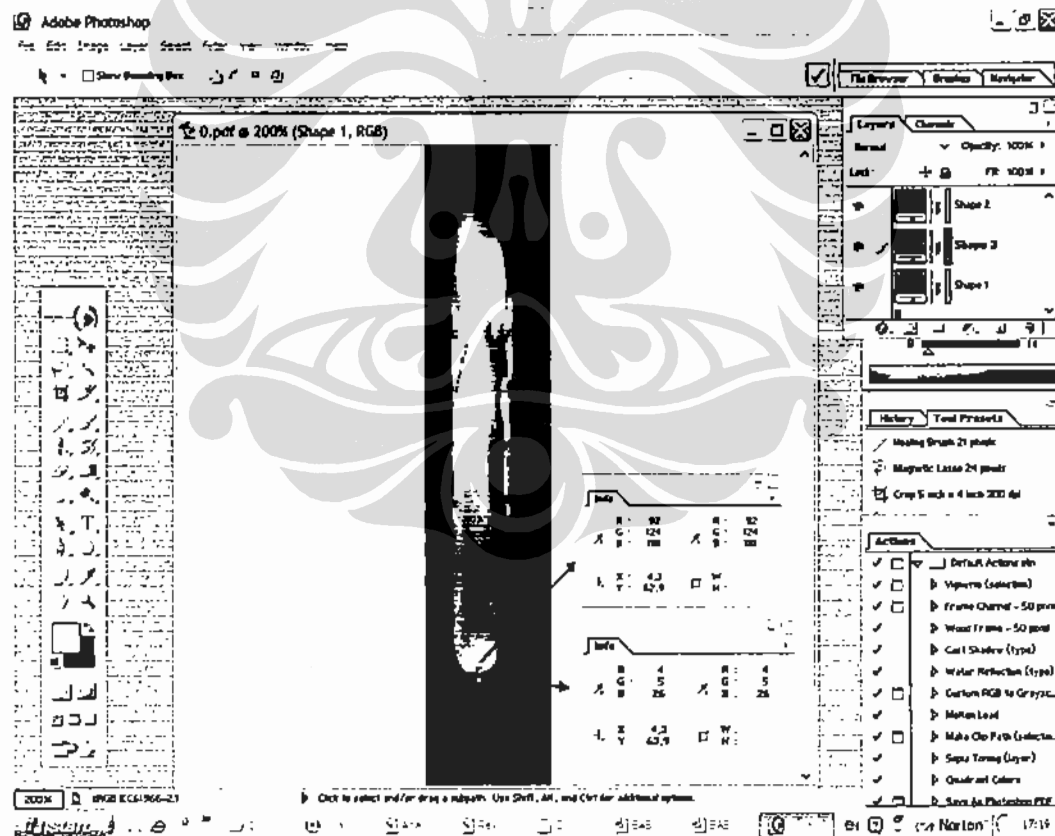
4.2.1 Panjang Nyala Api Difusi

Panjang nyala api difusi merupakan selisih antara tinggi nyala api difusi dengan jarak *lifted flame*. Data jarak *lifted flame* dan tinggi nyala api diperoleh

menggunakan *software adobe premiere* dan *software adobe photoshop* dengan prosedur berikut :

1. Nyala api difusi untuk laju aliran propana tertentu di *capture* menggunakan kamera video kapasitas 25 fps selama 8 s/d 12 detik, dengan demikian diperoleh jumlah *frame picture* sebanyak 200 s/d 250 untuk tiap laju aliran propana atau udara.
2. Video *frame picture* sebanyak 200 s/d 250 (butir 1) di *open/ekspllit* menggunakan *software adobe premiere* untuk mendapatkan 1 *frame* nyala api difusi berdasarkan tinggi nyala api difusi rata-rata.
3. Setelah 1 *frame picture* diperoleh, kemudian gambar tersebut di *open/ekspllit* menggunakan *software adobe photoshop* untuk mendapatkan data jarak *lifted flame* dan tinggi nyala api difusi.

Proses butir 3 diatas, dengan pencitraan warna *Red, Green* dan *Blue* (RGB) seperti ditunjukkan gambar dibawah ini.

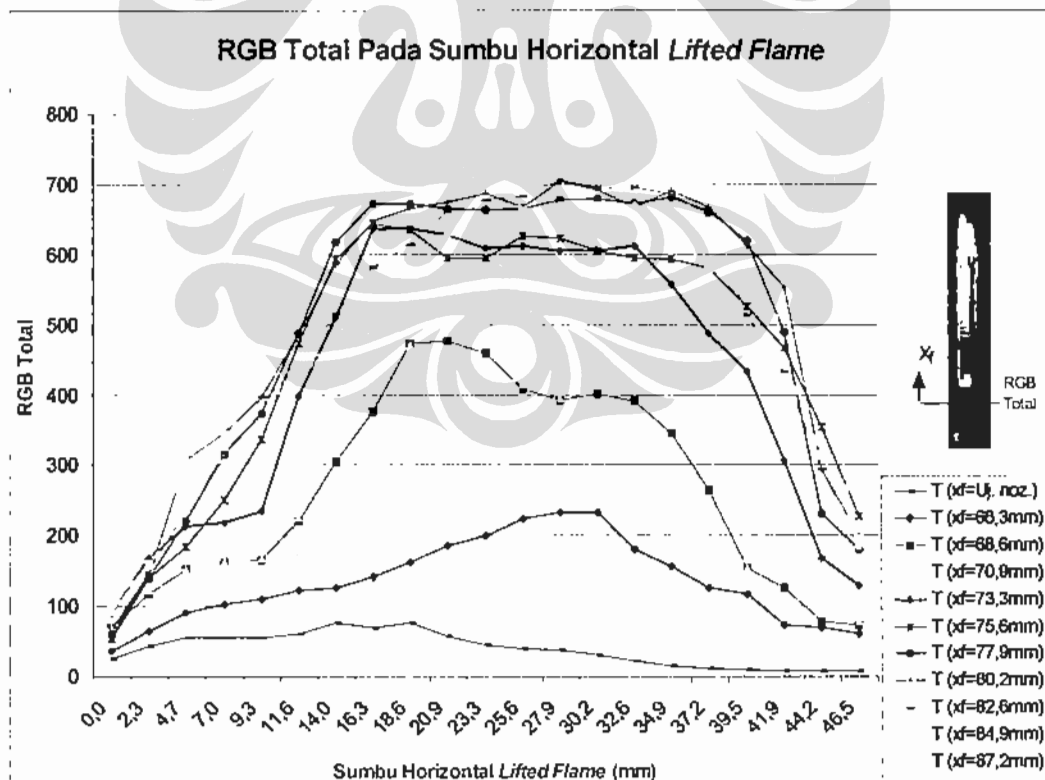


Gambar 4.1. Metode untuk menentukan titik *lifted flame* dan panjang nyala api menggunakan *software adobe photoshop*.

Berdasarkan gambar 4.1 diketahui koordinat titik 1 pada $x=(4,3)$ dan $y=(63,9)$ dengan RGB sebesar 4;5;26 atau RGB total = 35 dan koordinat titik 2 adalah $x=(4,3)$ dan $y=(62,9)$ dengan RGB sebesar 92;124;181 atau RGB total =397. Dari titik-titik koordinat ini dibuat grafik RGB total terhadap sumbu x bervariasi (metode horizontal) dimana sumbu y konstan serta terhadap sumbu y bervariasi (metode vertikal) dimana sumbu x konstan. Oleh karena penggabungan warna RGB menjadi warna putih dan warna latar belakang yang digunakan dalam *software adobe photoshop* adalah warna hitam maka untuk menentukan pencitraan RGB maksimum dipergunakan nilai total RGB, seperti ditunjukkan gambar dibawah ini.

4.2.1.1 Metode Horizontal RGB Total

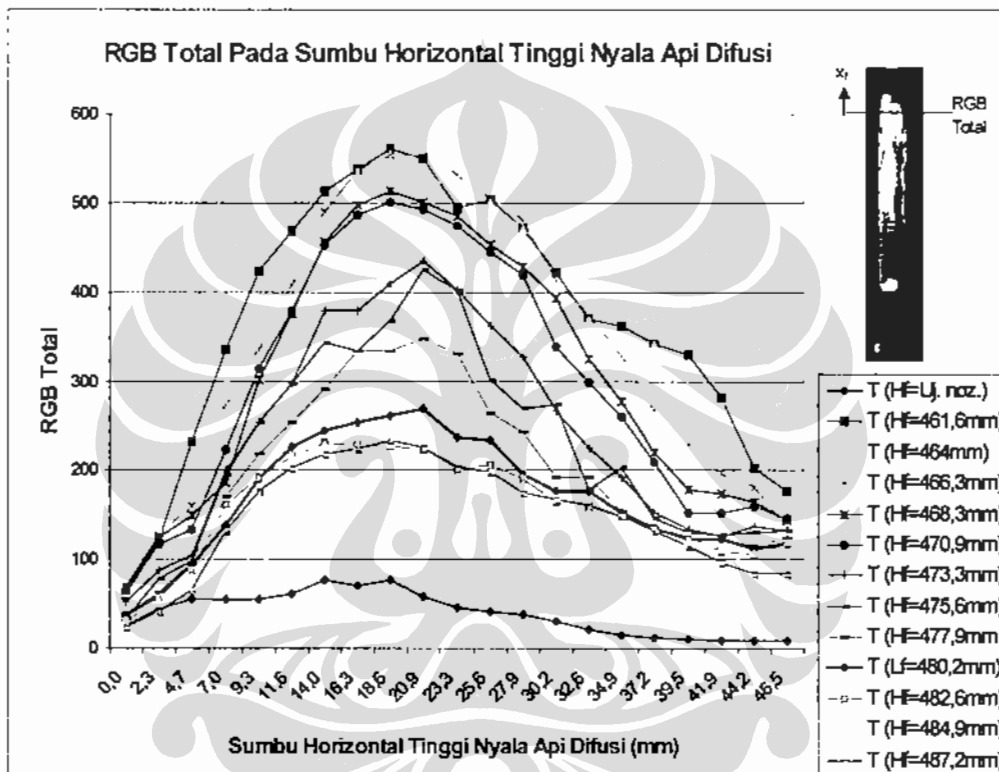
Metode horizontal RGB total adalah **RGB total pada sumbu x bervariasi dan sumbu y konstan**. Refrensi pencitraan RGB total diawali dari ujung nozel, pencitraan RGB total jarak *lifted flame* dan tinggi nyala api difusi menggunakan metode horizontal RGB total ditunjukkan gambar dibawah ini



Gambar 4.2. Pencitraan RGB total titik *lifted flame* terhadap sumbu horizontal

Gambar 4.2 garis tebal berwarna merah adalah posisi titik *lifted flame*, dimana $\frac{d(RGB)_{total}}{dy} \gg$. Titik y terdekat ke pangkal nyala api difusi pada $\frac{d(RGB)_{total}}{dy} \gg$ adalah titik 73,3 mm dari ujung nozel, maka titik *lifted flame* $(x_f) = 73,3 \text{ mm}$ dari ujung nozel.

Untuk menentukan titik tinggi nyala api difusi, digunakan gambar pencitraan RGB Total dibawah ini.

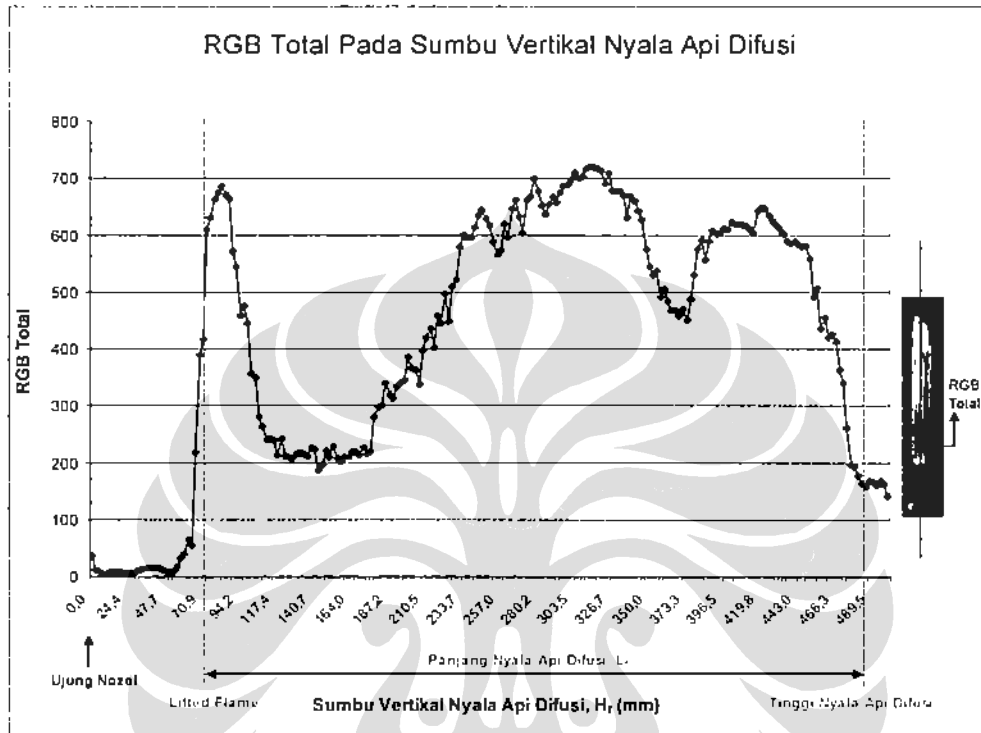


Gambar 4.3. Pencitraan RGB total titik tinggi nyala api difusi sumbu horizontal.

Kondisi yang sesuai ditunjukkan gambar 4.3, bahwa garis tebal berwarna merah adalah posisi tinggi nyala api difusi yang ditentukan oleh $\frac{d(RGB)_{total}}{dy} \gg$. Titik y terdekat keujung nyala api difusi pada $\frac{d(RGB)_{total}}{dy} \gg$ adalah titik 470,9 mm dari ujung nozel, maka titik tinggi nyala api difusi $(H_f) = 470,9 \text{ mm}$ dari ujung nozel.

4.2.1.2. Metode Vertikal RGB Total

Metode *vertikal* RGB total adalah RGB total pada sumbu y bervariasi dan sumbu x konstan. Metode vertikal pencitraan RGB total diawali dari ujung nozel sampai ujung nyala api difusi. Pencitraan RGB total *lifted flame* dan tinggi nyala api difusi metode vertikal ditunjukkan gambar dibawah ini.



Gambar 4.4. Pencitraan RGB total terhadap sumbu vertikal nyala api difusi.

Untuk memperoleh jarak *lifted flame* menggunakan metode vertikal RGB total (gambar 4.4) identik dengan metode horizontal RGB total dimana $\frac{d(RGB)total}{dy} \gg$, tetapi lebih sulit dan kurang akurat dalam menentukan posisi

yang sebenarnya. Oleh karena itu penulis mempergunakan metode horizontal RGB total dalam penulisan thesis ini.

Berdasarkan gambar 4.1 s/d 4.4 dan persamaan 2.6 diperoleh panjang nyala api difusi sbb :

- *Lifted flame*, $x_f = 73,3mm$
- Tinggi nyala difusi, $H_f = 470,9mm$
- Maka panjang nyala api difusi, $L_f = 470,9mm - 73,3mm$
 $= 397.6mm$

4.2.2 Reynolds Number Propana Pada Ujung Nozel

Dengan menggunakan persamaan 2.10 diperoleh *Reynolds number* propana pada ujung nozel, $Re_{f,i}$ sbb :

- Diameter nozel, $d_{no} = 1,8 \times 10^{-3} \text{ m}$

- Laju aliran propane, $Q_f = 29 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{dtk}$

- Kecepatan aliran propana, $u_{f,i} = \frac{29 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{dtk}}{(\pi/4) \times (1,8 \times 10^{-3})^2 \text{ m}^2}$
 $= 11,4 \text{ m/dtk}$

- Viskositas propana [37] (lampiran 2) pada kondisi lingkungan sesuai Bab III sub bab 3.5, sbb :

$$\nu = 5,7 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{dtk}$$

- Maka *Reynolds number* propana, $Re_{f,i} = \frac{11,402 \text{ m}^2/\text{dtk} \times 1,8 \times 10^{-3} \text{ m}}{5,7 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{dtk}}$
 $= 3.623$

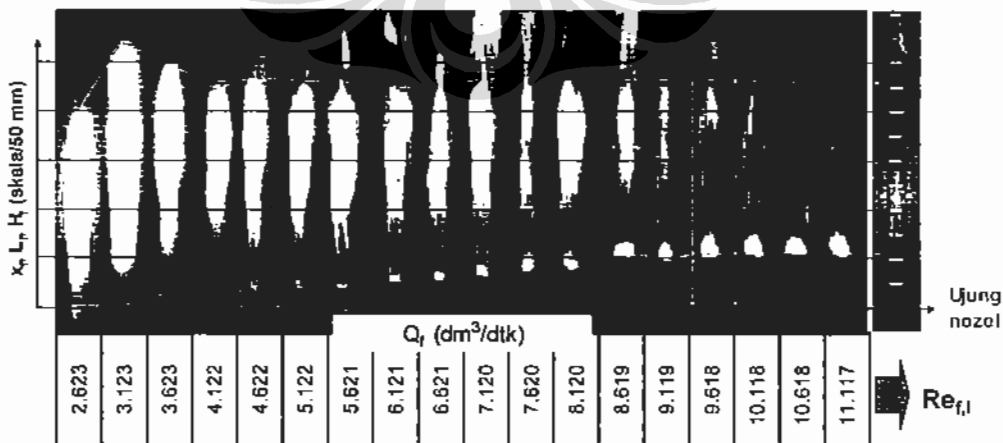
- Berdasarkan perhitungan 4.2.1 dan 4.2.2 diatas diperoleh tabel panjang nyala api difusi tanpa injeksi udara dan *Reynolds number* saat propana keluar nozel sebagai berikut :

Tabel IV.1. Panjang nyala api difusi tanpa injeksi udara dan *Reynolds number* propana pada ujung nozel

Q_r Propana (dm ³ /dtk)	$u_{f,i}$ Propana (m/dtk)	Nyala Api Difusi (mm)			<i>Reynolds Number</i>
		Lifted Flame	Tinggi	Panjang	
0,021	8,26	0,0	385,9	385,9	2.623
0,025	9,83	0,0	517,9	517,9	3.123
0,029	11,40	21,8	492,3	470,5	3.623
0,033	12,97	33,3	428,2	394,9	4.122
0,037	14,55	39,7	444,9	405,1	4.622
0,041	16,12	43,6	434,6	391,0	5.122
0,045	17,69	39,7	434,6	394,9	5.621
0,049	19,27	53,8	426,9	373,1	6.121
0,053	20,84	59,0	424,4	365,4	6.621
0,057	22,41	66,7	432,1	365,4	7.120
0,061	23,98	69,2	442,3	373,1	7.620
0,065	25,56	78,2	441,0	362,8	8.120
0,069	27,13	105,4	450,0	344,6	8.619
0,073	28,70	103,8	447,4	343,6	9.119
0,077	30,27	102,6	450,0	347,4	9.618
0,081	31,85	105,1	451,3	346,2	10.118
0,085	33,42	103,8	451,3	347,4	10.618
0,089	34,99	105,1	450,0	344,9	11.117

Ket. : Jarak *lifted flame* dan tinggi nyala api difusi diperoleh menggunakan *software adobe Photoshop* metode **horizontal RGB Total**

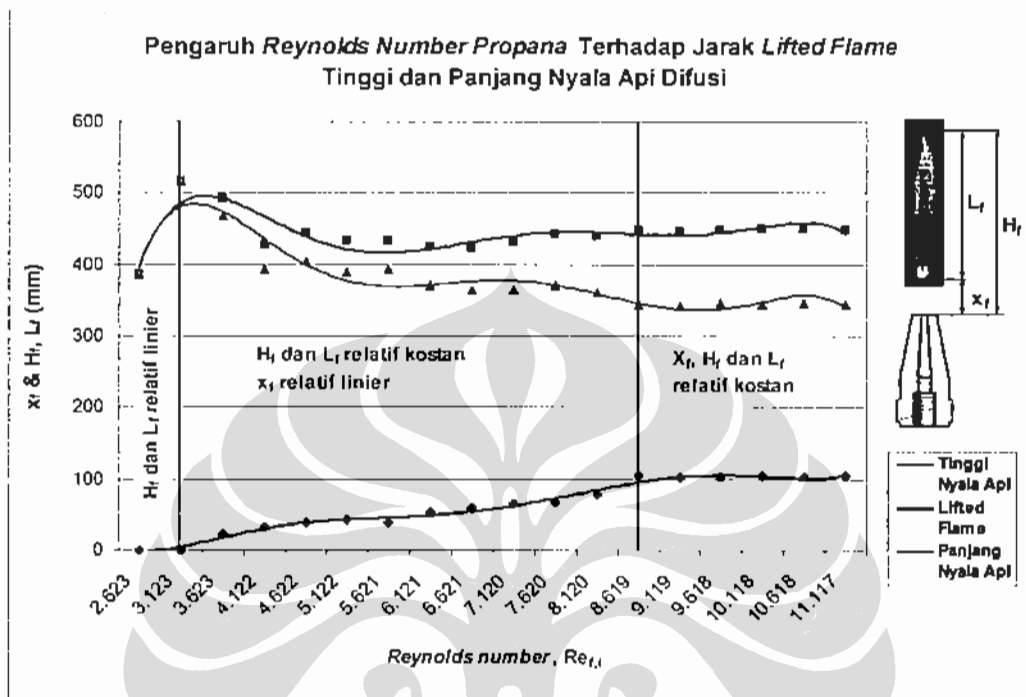
Dari tabel IV.1 diatas diperoleh pengaruh *Reynolds number* terhadap jarak *lifted flame*, tinggi dan panjang nyala api difusi ditunjukkan gambar dibawah ini.



Gambar 4.5. Pengaruh *Reynolds number* propana terhadap nyala api difusi tanpa injeksi udara

4.2.3 Jarak *Lifted Flame* , Tinggi dan Panjang Nyala Api Difusi

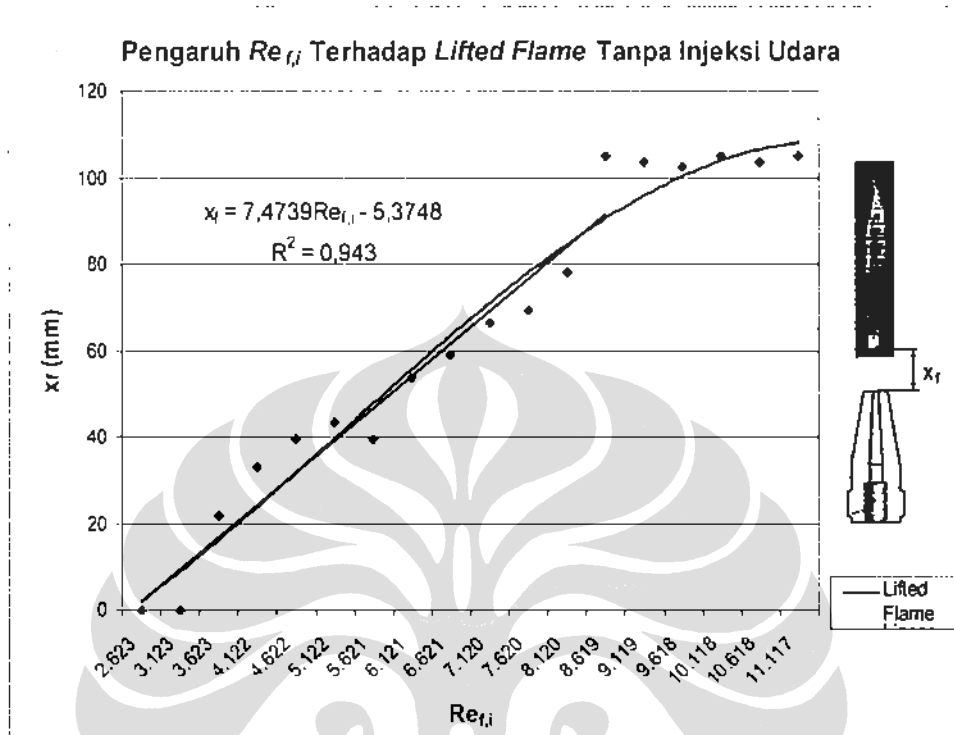
Untuk lebih jelasnya pengaruh *Reynolds number* propana terhadap jarak *lifted flame*, tinggi dan panjang nyala api difusi, gambar 4.5 diplot pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.6. Pengaruh *Reynolds number* propana terhadap nyala api difusi tanpa injeksi udara

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa untuk *Reynolds number* propana $2.613 \leq Re_{f,i} \leq 3.123$ tinggi dan panjang nyala api difusi meningkat relatif linier dan pada kondisi ini *lifted flame* belum terjadi. Pada $3.123 \leq Re_{f,i} \leq 8.169$ jarak *lifted flame* naik relatif linier, sedangkan pada $2.623 < Re_{f,i} < 8.619$ tinggi dan panjang nyala api difusi berfluktuasi. Untuk $Re_{f,i} \geq 8.619$ jarak *lifted flame*, tinggi dan panjang nyala api difusi mulai konstan, kondisi ini disebut nyala api *liftoff*. Dengan demikian untuk $Re_{f,i} \leq 8.619$ mempengaruhi jarak *lifted flame*, tinggi dan panjang nyala api difusi. Dari tabel 4.1 dan gambar 4.6 diperoleh jarak *lifted flame*, tinggi dan panjang nyala api difusi pada kondisi nyala api *liftoff*, yaitu : x_f sebesar 105,4 mm, H_f sebesar 450 mm dan L_f sebesar 344,6 mm.

Gambar 4.6 menunjukkan pada kondisi tertentu kenaikan jarak *lifted flame* proporsional terhadap *Reynolds number* propana ($Re_{f,i}$), fenomena ini secara detail ditunjukkan gambar 4.7 dibawah ini.



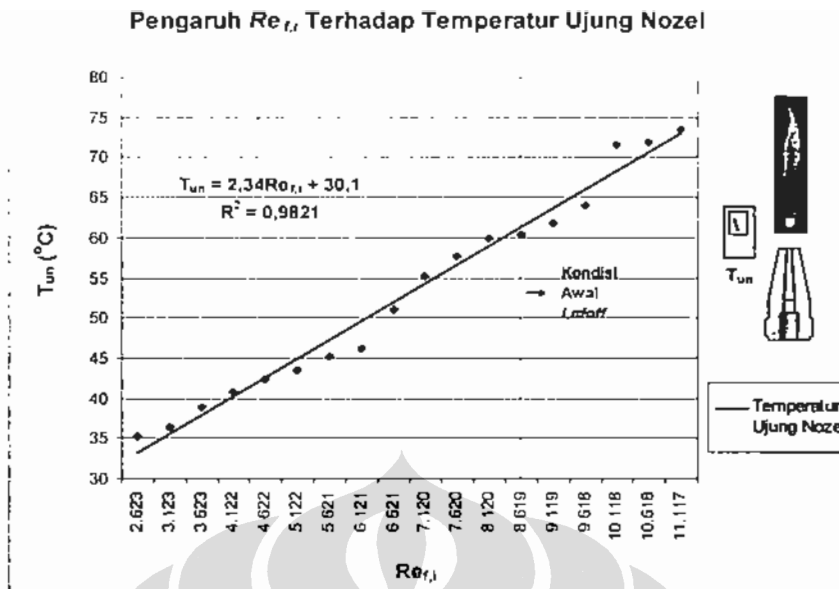
Gambar 4.7. Pengaruh $Re_{f,i}$ terhadap jarak *lifted flame*

Jarak *lifted flame* meningkat secara linier sesuai kenaikan $Re_{f,i}$ sampai $Re_{f,i} = 8.619$ dan mulai konstan dari $Re_{f,i} = 8.619$ pada laju aliran propana (Q_f) sebesar $0,069 \text{ dm}^3/\text{dtk}$. Secara matematik, kenaikan jarak *lifted flame* sesuai persamaan dibawah ini.

$$x_f = 7,87 Re_{f,i} - 6,65 \dots\dots\dots(4.1)$$

4.2.4 Temperatur Ujung Nozel

Berdasarkan tabel III.3 dan IV.1 dapat diketahui pengaruh *Reynolds number* propana pada nozel ($Re_{f,i}$) terhadap temperatur ujung nozel, ditunjukkan gambar dibawah ini.



Gambar 4.8. Pengaruh $Re_{f,i}$ terhadap temperatur ujung nozel.

Gambar 4.8 menunjukkan bahwa pada kondisi awal liftoff temperatur ujung nozel sebesar $60,5^{\circ}\text{C}$ dan kenaikan temperatur ujung nozel proporsional secara linier terhadap kenaikan $Re_{f,i}$. Pengaruh $Re_{f,i}$ terhadap temperatur ujung nozel ditunjukkan persamaan dibawah ini.

$$T_{un} = 2,34Re_{f,i} + 30,1 \dots\dots\dots(4.2)$$

Temperatur kondisi awal *liftoff* diperoleh sebesar $60,5^{\circ}\text{C}$.

4.2.5 Kecepatan Pembakaran

Untuk mengetahui kecepatan pembakaran nyala api difusi turbulen (S_T), maka terlebih dahulu diketahui kecepatan pembakaran laminar (S_L). Kecepatan pembakaran nyala api difusi kondisi *liftoff* tanpa injeksi udara hasil eksperimen ditunjukkan perhitungan dibawah ini.

a. Kecepatan pembakaran laminar

Dengan menggunakan persamaan 2.51 & 2.52 dan tabel IV.1. diperoleh kecepatan pembakaran laminar, sebagai berikut :

- Diameter nozel (tabel 1.1), $d_{IN} = 1,8\text{ mm}$

Maka $r_{IN} = 0,09\text{ cm}$

- Laju aliran propana. $Q_f = 69\text{ cm}^3/\text{dk}$

- Panjang nyala api difusi, $L_f = 34,5 \text{ cm}$
- Maka kecepatan pembakaran laminar nyala api difusi tanpa injeksi udara, S_L sbb :

$$S_L = \frac{2 \times 69}{\pi \times 0,09 \sqrt{(0,09)^2 + 34,5^2}} \text{ cm/dtk}$$

$$= 14,2 \text{ cm/dtk}$$

b. Kecepatan pembakaran turbulen

Dengan menggunakan persamaan 2.53 s/d 2.55 dan tabel IV.1. diperoleh kecepatan pembakaran turbulen, sebagai berikut :

- Diameter nyala api (berdasarkan pembahasan 4.2), $d_f = l_f = 4,1 \text{ cm}$
- Waktu yang diperlukan (t) elemen bahan bakar mencapai ujung nyala api difusi menggunakan persamaan 2.54 sbb:

$$t = \frac{4,1 \text{ cm}}{14,2 \text{ cm/dtk}} = 0,289 \text{ dtk}$$

- Sehingga, $u'_{rms} = \frac{34,5}{0,289} = 119,4 \text{ cm/dtk}$
- Maka kecepatan pembakaran turbulen, S_T :

$$S_T = 14,2 \left[1 + \left(\frac{2 \times 119,4}{14,2} \right)^2 \right]^{1/2} \text{ cm/dtk}$$

$$= 239,2 \text{ cm/dtk}$$

4.2.6 Beban Pembakaran (*Burning Load*)

Beban pembakaran *burner* terhadap nozel *burner* tipe *ejected combustor* yang digunakan pada eksperimen (kondisi nyala api difusi *lift-off*) diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.7, sebagai berikut:

Dimana, $LHV = 46.348 \text{ kJ/kg}$ [38] (lampiran 3).

$\rho_{propana} = 1.814 \text{ kg/m}^3$ [39] (lampiran 4).

$$BL = \frac{69 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{dtk} \times 1,814 \text{ kg/m}^3 \times 46.348 \text{ kJ/kg}}{\pi \times (9 \times 10^{-3} \text{ m})^2}$$

$$= 2.280,8 \text{ MW/m}^2$$

4.2.7 Nyala Api Difusi Kondisi *Liftoff*

Pada *burning load* sebesar $2.280,8 \text{ MW/m}^2$ diperoleh jarak *lifted flame*, tinggi dan panjang nyala api difusi pada kondisi konstan disebut kondisi *liftoff*. Dari hasil eksperimen dan perhitungan diatas diperoleh parameter kondisi *liftoff* nyala api difusi tanpa injeksi udara ditunjukkan tabel IV.2 dibawah ini:

Tabel IV.2. Parameter nyala api difusi kondisi awal *liftoff*

• Diameter nozel, d_{IN}	: $1,8 \times 10^{-3} \text{ m}$
• <i>Burning load</i> , BL	: $2.280,8 \text{ MW/m}^2$
• Laju aliran propana, Q_f	: $0,069 \text{ dm}^3/\text{dtk}$
• Kecepatan propana, $u_{f,i}$: $27,13 \text{ m/dtk}$
• <i>Lifted flame</i> , x_f	: $105,4 \text{ mm}$
• Tinggi nyala api difusi, H_f	: 450 m
• Panjang nyala api difusi, L_f	: $344,6 \text{ m}$
• <i>Reynolds number</i> , $Re_{f,i}$: 8.619
• Kecepatan pembakaran, S_T	: $239,2 \text{ cm/dtk}$
• Temperatur Ujung Nozel, T_m	: $60,5^\circ \text{C}$
• Kondisi lingkungan :	
➤ Temperatur rata-rata	: $29,05^\circ \text{C}$
➤ Kelembapan relatif rata-rata	: 80%

4.3 ANALISIS PENELITIAN TAHAP KEDUA

Pada penelitian tahap dua dilakukan injeksi udara pada *burning load* $2.280,8 \text{ MW/m}^2$ dengan ring pengarah udara 0° , 15° , 30° , 45° , 60° dan 75° pada kondisi nyala api *liftoff* (data tabel IV.2). Dengan cara yang sama dengan analisis 4.2 menggunakan *software adobe photoshop RGB total metode horizontal* diatas diperoleh data jarak *lifted flame*, tinggi dan panjang nyala api difusi dengan injeksi udara ditunjukkan tabel IV.3.

Table IV.3. Propertis nyala api difusi bahan bakar propana dengan injeksi udara dengan berbagai sudut

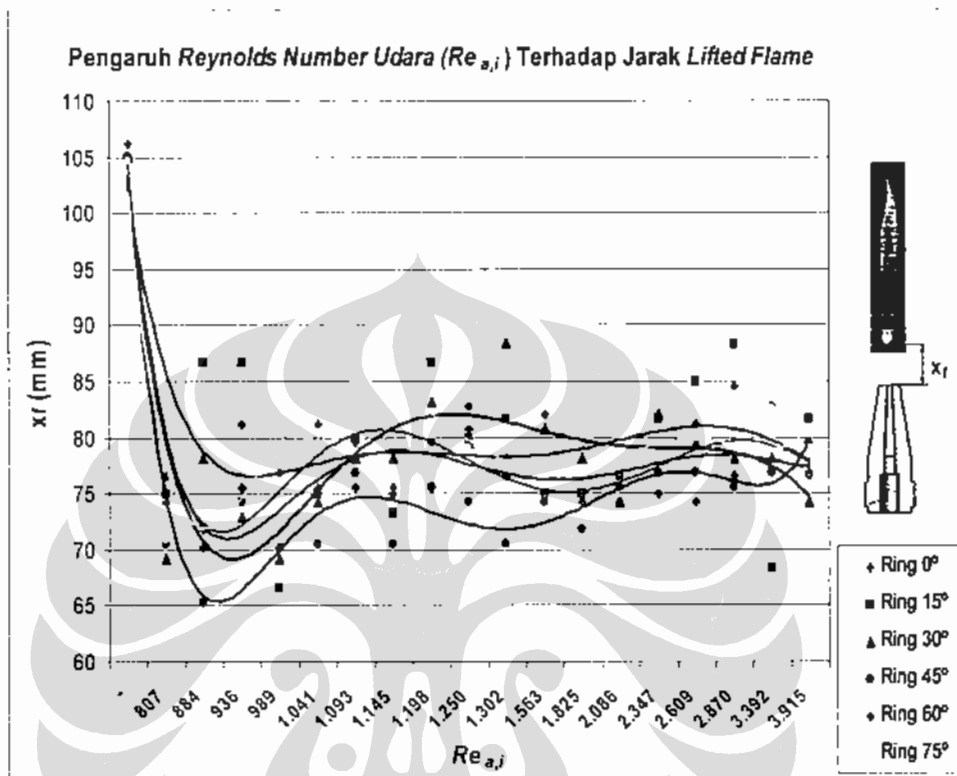
Laju Aliran Udara (dm ³ /dtk)	Kecepatan Udara, u _a (m/dtk)	Reynolds Number (Re _a)	LIFTED FLAME, x _f (mm)					TINGGI NYALA API, H _f (mm)					PANJANG NYALA API, L _f (mm)							
			SUDUT RING PENGARAH UDARA					SUDUT RING PENGARAH UDARA					SUDUT RING PENGARAH UDARA							
			0°	15°	30°	45°	60°	75°	0°	15°	30°	45°	60°	75°	0°	15°	30°	45°	60°	75°
0	0	-	105,1	105,0	105,1	105,1	106,3	104,7	450,0	450,0	450,0	450,0	450,0	450,0	344,9	345,0	344,9	344,9	343,8	345,3
0,0191	1,52	832	74,4	75,0	69,2	70,5	76,6	70,9	433,3	473,3	465,4	466,7	470,3	461,6	359,0	398,3	396,2	396,2	393,8	390,7
0,0203	1,62	884	71,8	86,7	78,2	65,4	70,3	73,3	456,4	441,7	466,7	466,7	473,4	457,0	384,6	355,0	388,5	401,3	403,1	383,7
0,0215	1,71	936	75,6	86,7	73,1	74,4	81,3	79,1	441,0	448,3	478,2	482,1	475,0	453,5	365,4	361,7	405,1	407,7	393,8	374,4
0,0227	1,81	989	76,9	86,7	69,2	66,7	70,3	82,6	435,9	460,0	457,7	476,9	464,1	454,7	359,0	393,3	388,5	410,3	393,8	372,1
0,0239	1,90	1.041	75,6	75,0	74,4	70,5	81,3	80,2	425,6	455,0	462,8	460,3	456,3	453,5	350,0	380,0	388,5	388,7	375,0	373,3
0,0251	2,00	1.093	75,6	80,0	78,2	76,9	79,7	83,7	441,0	455,0	479,5	467,9	478,1	451,2	365,4	375,0	401,3	391,0	398,4	367,4
0,0263	2,09	1.145	75,6	73,3	78,2	70,5	75,0	79,1	444,9	448,3	482,1	447,4	464,1	466,3	369,2	375,0	403,8	376,9	389,1	387,2
0,0275	2,19	1.198	75,6	86,7	83,3	75,6	79,7	88,4	432,1	451,7	467,9	464,1	473,4	469,8	356,4	365,0	384,6	388,5	393,8	381,4
0,0287	2,29	1.250	80,8	80,0	79,5	74,4	82,8	79,1	434,6	453,3	473,1	469,2	464,1	451,2	353,8	373,3	393,6	394,9	381,3	372,1
0,0299	2,38	1.302	78,2	81,7	88,5	70,5	76,6	72,1	439,7	453,3	465,4	465,4	467,2	437,2	361,5	371,7	376,9	394,9	390,6	365,1
0,0359	2,86	1.563	82,1	75,0	80,8	74,4	75,0	83,7	452,6	440,0	469,2	456,4	473,4	446,5	370,5	365,0	388,5	382,1	398,4	362,8
0,0419	3,34	1.825	74,4	75,0	78,2	71,8	75,0	79,1	424,4	453,3	474,4	460,3	479,7	444,2	350,0	378,3	396,2	388,5	404,7	365,1
0,0479	3,81	2.086	74,4	76,7	74,4	75,6	76,6	79,1	452,6	448,3	473,1	460,3	456,3	446,5	378,2	371,7	398,7	384,6	379,7	367,4
0,0539	4,29	2.347	76,9	81,7	82,1	76,9	75,0	77,9	438,5	445,0	467,9	466,7	456,3	453,5	361,5	363,3	385,9	389,7	381,3	375,6
0,0599	4,77	2.609	74,4	85,0	79,5	76,9	81,3	73,3	430,8	441,7	461,5	473,1	470,3	457,0	356,4	356,7	382,1	396,2	389,1	383,7
0,0659	5,25	2.870	84,6	88,3	78,2	75,6	76,6	82,6	450,0	461,7	465,4	466,7	475,0	454,7	365,4	373,3	387,2	391,0	398,4	372,1
0,0779	6,20	3.392	76,9	68,3	78,2	76,9	82,8	82,6	435,9	446,7	466,7	471,8	470,3	457,0	359,0	378,3	388,5	394,9	387,5	374,4
0,0899	7,16	3.915	76,9	81,7	74,4	79,5	76,6	79,1	434,6	455,0	460,3	469,2	467,2	454,7	357,7	373,3	385,9	389,7	390,6	375,6

Ket. : - Kecepatan laju aliran volume bahan bakar konstan sebesar 0,069 dm³/dtk.

- Jarak lifted flame dan tinggi nyala api difusi diperoleh dengan menggunakan software adobe photoshop RGB total metode horizontal.

4.3.1 Jarak *Lifted Flame*

Dari tabel IV.3 diperoleh pengaruh sudut pengarah udara dan *Reynolds number* udara ($Re_{a,i}$) terhadap jarak *lifted flame*, ditunjukkan gambar dibawah ini.

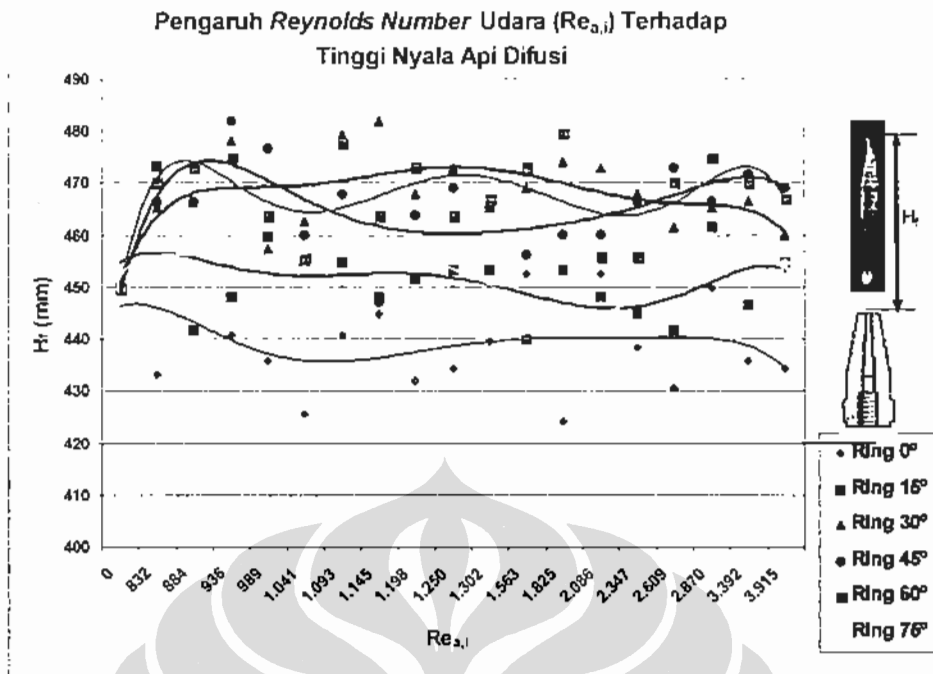


Gambar 4.9. Pengaruh $Re_{a,i}$ terhadap jarak *lifted flame*

Gambar 4.9 menunjukkan bahwa pada $Re_{a,i} < 2.086$ jarak *lifted flame* berfluktuasi untuk semua ring pengarah udara dan pada $Re_{a,i} \geq 2.086$ jarak *lifted flame* relatif konstan. Jarak *lifted flame* terdekat ke ujung nozzle dihasilkan ring pengarah udara sudut 45° sebesar 65,4 mm pada $Re_{a,i}$ sebesar 884 dengan laju aliran udara sebesar $0,0203 \text{ dm}^3/\text{dtk}$.

4.3.2 Tinggi Nyala Api Difusi

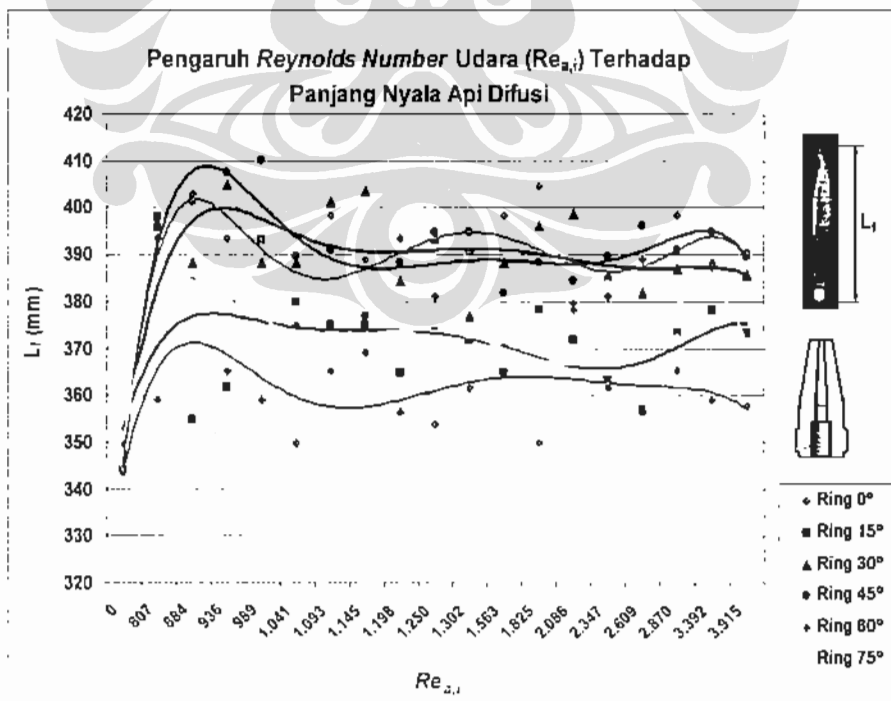
Dari tabel IV.3 diperoleh pengaruh sudut pengarah udara terhadap tinggi nyala api difusi bahan bakar propana, seperti ditunjukkan gambar dibawah ini. $Re_{a,i}$ relatif tidak berpengaruh terhadap tinggi nyala api difusi untuk semua sudut ring pengarah.



Gambar 4.10. Pengaruh $Re_{a,i}$ terhadap tinggi nyala api difusi.

4.3.3 Panjang Nyala Api Difusi

Dari tabel IV.3 diperoleh pengaruh sudut pengarah udara terhadap panjang nyala api difusi bahan bakar propana ditunjukkan gambar dibawah ini.



Gambar 4.11. Pengaruh $Re_{a,i}$ terhadap panjang nyala api difusi

Gambar 4.11 menunjukkan bahwa pada $Re_{a,j} < 1.093$ panjang nyala api difusi berfluktuasi, sedangkan pada $Re_{a,j} \geq 1.093$ panjang nyala api difusi relatif konstan. Panjang nyala api difusi maksimum dihasilkan ring pengarah 45° sebesar 410,3 mm pada $Re_{a,j}$ sebesar 989.

Karena panjang nyala api merupakan selisih antara tinggi nyala api difusi dengan jarak *lifted flame*, perlu dilakukan kajian terhadap jarak *lifted flame* dan tinggi nyala api difusi untuk mengetahui mana yang paling memberikan pengaruh terhadap perubahan panjang nyala api difusi. Jika gambar 4.9 dan 4.10 dibandingkan terhadap gambar 4.11, diperoleh bahwa gambar 4.9 merupakan pencerminan gambar 4.11, dengan demikian faktor utama yang mempengaruhi perubahan panjang nyala api difusi dengan injeksi udara menggunakan sudut pengarah adalah jarak *lifted flame*.

4.3.4 Analisis *Excess Air*

Gambar 4.11 menunjukkan bahwa terdapat korelasi antara *excess air* dengan panjang nyala api difusi sebagai berikut :

- Berdasarkan pembahasan 4.1 diatas, untuk pembakaran stokiometri 1 kg propana dibutuhkan 15,83 kg udara ($AFR_{stoikiometri} = 15,83$).
- Untuk pembakaran propana $0,069 \text{ dm}^3/\text{dtk}$ diperlukan udara sebesar :

$$\begin{aligned} \dot{m}_f &= 69 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{dtk} \times 1,814 \text{ kg/m}^3 \\ &= 125,2 \times 10^{-6} \text{ kg/dtk} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{m}_a &= AFR_{stoikiometri} \times \dot{m}_f = 15,83 \times 125,2 \times 10^{-6} \text{ kg/dtk} \\ &= 1,98 \times 10^{-3} \text{ kg/dtk} \end{aligned}$$

- *Excess air* :

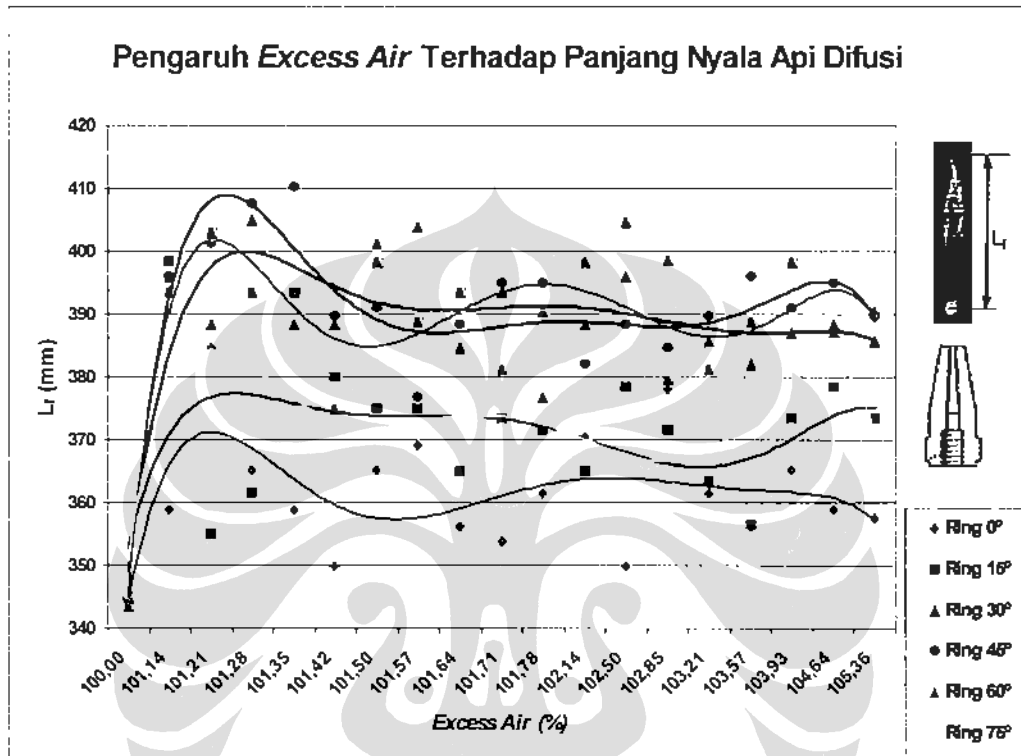
$$Q_a = 0,0191 \text{ dm}^3/\text{dtk}$$

$$\rho_{ar} = 1,18 \text{ kg/m}^3 \text{ (lampiran 4)}$$

$$\begin{aligned} \dot{m}_a &= 19,1 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{dtk} \times 1,18 \text{ kg/m}^3 \\ &= 22,54 \times 10^{-6} \text{ kg/dtk} \end{aligned}$$

- Maka $excess\ air\ (\%) = \frac{22,54 \times 10^{-6} \text{ kg/dtk} + 1,98 \times 10^{-3} \text{ kg/dtk}}{1,98 \times 10^{-3} \text{ kg/dtk}} \times 100\%$
 $= 101,14\%$

Dari perhitungan diatas diperoleh pengaruh *excess air* terhadap panjang nyala api difusi, sebagai berikut :

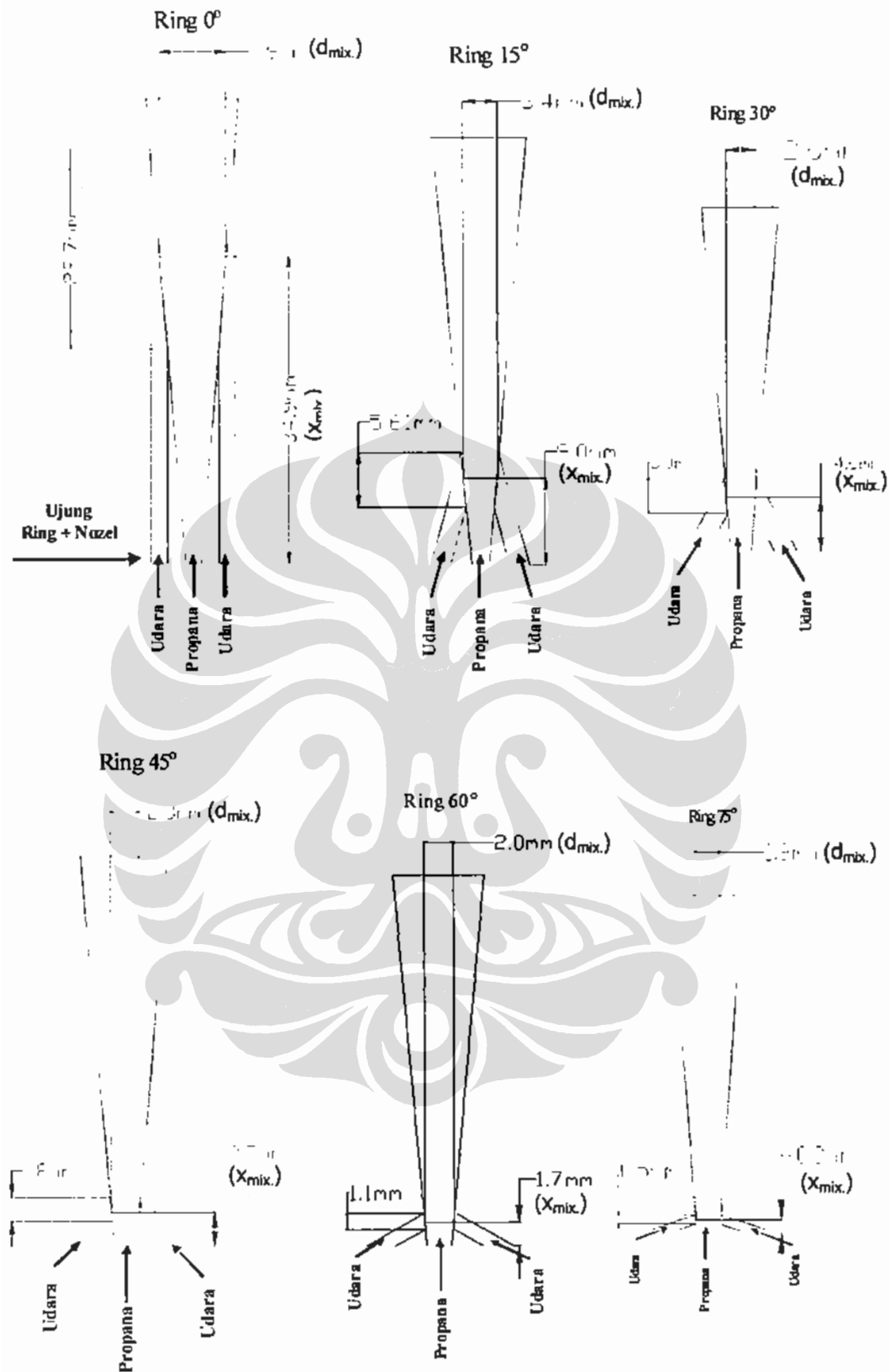


Gambar 4.12. Pengaruh *excess air* terhadap panjang nyala api difusi

Gambar 4.12 menunjukkan bahwa untuk *excess air* 101,14% s/d 101,28% panjang nyala api difusi berada pada titik maksimum untuk masing-masing ring pengarah udara. Untuk *excess air* > 101,5% panjang nyala api difusi relatif identik untuk semua ring pengarah udara. Dengan demikian ring pengarah udara berpengaruh terhadap panjang nyala api pada daerah *excess air* $\leq 101,5\%$.

4.3.5 Analisis Pengaruh Sudut Percampuran Udara-Propana

Dengan menggunakan *software AutoCAD2004* diperoleh diameter (d_{mix}) dan tinggi percampuran udara-propana (x_{mix}) untuk ring pengarah 0° , 15° , 30° , 45° , 60° dan 75° melalui analisis trigonometri, dengan analisis ditunjukkan gambar sebagai berikut:



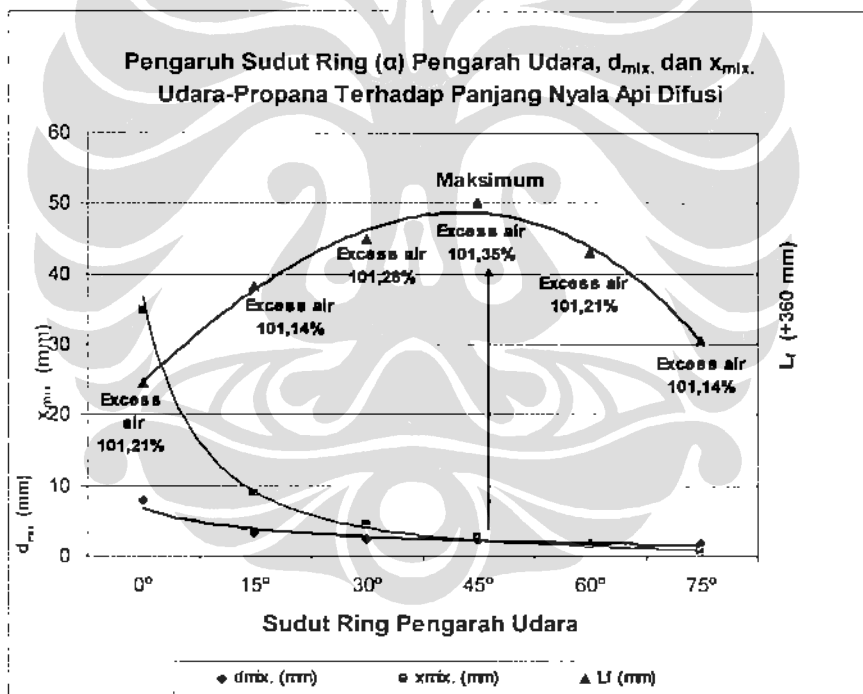
Gambar 4.13. Proses pencampuran udara-propana pada *burner* gas tipe *ejected combustor* (dimensi d_{mix} dan x_{mix} diperoleh dengan menggunakan *software AutoCAD 2004*)

Dari gambar 4.13 diperoleh tabel diameter dan tinggi percampuran udara-propana, seperti ditunjukkan tabel dibawah ini.

Tabel IV.4 : Diameter, tinggi percampuran udara-propana

Ring Pengarah	d_{mix} (mm)	x_{mix} (mm)
Udara		
0°	7,9	34,9
15°	3,4	9
30°	2,6	4,5
45°	2,3	2,7
60°	2,0	1,7
75°	1,9	0,8

Gambar 4.11 untuk panjang nyala api difusi dan tabel IV.4 untuk d_{mix} dan x_{mix} dapat diketahui korelasi d_{mix} dan x_{mix} terhadap panjang nyala api maksimum, seperti ditunjukkan gambar dibawah ini.



Gambar 4.14. Pengaruh sudut ring pengarah udara, d_{mix} , dan x_{mix} udara-propana terhadap panjang nyala api difusi

Gambar 4.14 menunjukkan bahwa ring pengarah 45° menghasilkan panjang nyala api maksimum dan titik d_{mix} berhimpit dengan titik x_{mix} , secara matematik dapat

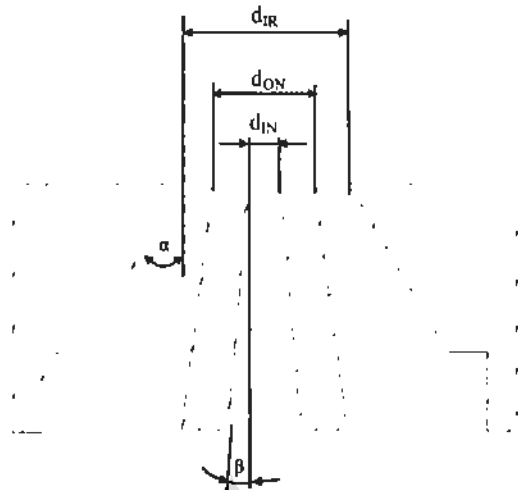
ditulis $\left(\frac{d_{mix}}{x_{mix}} \approx 1 \right)$, panjang maksimum nyala api difusi yang dihasilkan ring

pengarah udara berada pada range *excess air* 101,14% s/d 101,35%, maka untuk memfokuskan hasil penelitian maka analisis pengaruh sudut pengarah udara terhadap panjang nyala api difusi pada range *excess air* 101,14% s/d 101,35%. Dari kurva diatas diperoleh tabel sebagai berikut :

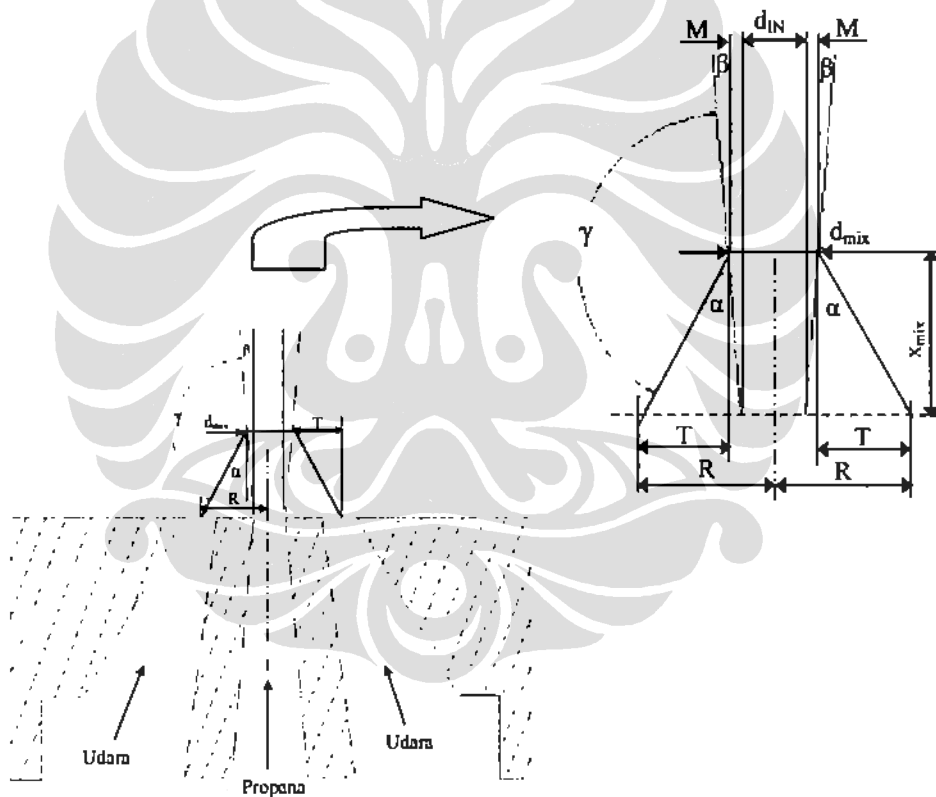
Tabel IV.5. Pengaruh sudut ring pengarah udara terhadap d_{mix} , x_{mix} , dan panjang nyala api difusi

Ring Pengarah Udara	d_{mix} (mm)	x_{mix} (mm)	d_{mix}/x_{mix}	L_f (mm)	$L_f d_{mix}$
0°	7,9	34,9	0,2	385	49
15°	3,4	9	0,4	398	117
30°	2,6	4,5	0,6	405	156
45°	2,3	2,7	0,9	410	178
60°	2,0	1,7	1,2	403	202
75°	1,9	0,8	2,4	391	206

Dari tabel IV.5 dan gambar 4.14 diperoleh pengaruh $\frac{d_{mix}}{x_{mix}}$ terhadap panjang nyala api difusi, jika $\frac{d_{mix}}{x_{mix}} < 1$, maka panjang nyala api difusi cenderung meningkat, dan pada $\frac{d_{mix}}{x_{mix}} \approx 1$ panjang nyala api difusi maksimum. Jika $\frac{d_{mix}}{x_{mix}} > 1$, maka panjang nyala api difusi cenderung berkurang. Dengan demikian $\frac{d_{mix}}{x_{mix}}$ memberikan pengaruh terhadap panjang nyala api difusi. Untuk mengetahui korelasi $\frac{d_{mix}}{x_{mix}}$ terhadap panjang nyala api difusi, dilakukan analisis korelasi diameter dan sudut ring pengarah udara serta diameter dan sudut sembur nozel terhadap diameter campuran udara-propana (d_{mix}) dengan menggunakan analisis trigonometri sudut injeksi udara dan propana dengan batasan tidak memperhitungkan **efek momentum, redaman dan osilasi dari element udara dan propana**. Analisis trigonometri sudut injeksi ring pengarah dan nozel ditunjukkan gambar dibawah ini.



Gambar 4.15. Diameter dan sudut injeksi ring pengarah udara serta nozel.



Gambar 4.16. Analisis trigonometri sudut injeksi ring pengarah udara dan nozel.

Dari gambar 4.15 dan 4.16 diperoleh :

- $d_{IN} : 1,8mm$
- $d_{IR} : 10mm$
- $d_{ON} : 6mm$
- Sudut sembur udara : α
- Sudut sembur propana : β

4.3.5.1 Sudut Percampuran Udara-Propana (γ)

Berdasarkan sudut semburan udara dan semburan propana diperoleh sudut campuran udara-propana, sebagai berikut :

$$\gamma = 180 - \beta - \alpha \dots\dots\dots(4.3)$$

Berdasarkan persamaan 4.3 diperoleh tabel sudut capuran udara-propana sbb :

Tabel IV.6. Sudut percampuran udara-propana

Sudut ring pengarah udara (α)	Sudut campuran (γ)
0°	175°
15°	160°
30°	145°
45°	130°
60°	115°
75°	100°

4.3.5.2 Diameter Percampuran Udara-Propana (d_{mix})

Dari gambar 4.15 dan 4.16 diperoleh diameter campuran udara-propana, d_{mix} . sbb :

$$d_{mix} = 2M + d_{IN} \dots\dots\dots(4.4)$$

Dimana,

$$M = tg\beta x_{mix} \dots\dots\dots(4.5)$$

Maka,

$$d_{mix} = 2x_{mix} \cdot tg \beta + d_{IN} \dots\dots\dots(4.6)$$

4.3.5.3 Tinggi Percampuran Udara-Propana dari Ujung Nozel (x_{mix})

Dari gambar 4.15 dan 4.16 diperoleh tinggi campuran udara-propana, x_{mix} . sbb :

$$x_{mix} = \frac{T}{tg\alpha} \dots\dots\dots(4.7)$$

Dimana,

$$T = R - \frac{d_{mix}}{2} \dots\dots\dots(4.8)$$

Dan,

$$R = \frac{1/2(d_{IR} - d_{ON})}{2} + \frac{d_{IN}}{2}$$

Atau,

$$R = \frac{d_{IR}}{4} + \frac{d_{ON}}{4} \dots\dots\dots(4.9)$$

Substitusi persamaan 4.9 ke persamaan 4.8 :

$$T = \frac{d_{IR}}{4} + \frac{d_{ON}}{4} - \frac{d_{mix.}}{2} \dots\dots\dots(4.10)$$

Kemudian substitusi persamaan 4.10 ke persamaan 4.7 sbb :

$$x_{mix.} = \frac{\frac{d_{IR}}{4} + \frac{d_{ON}}{4} - \frac{d_{mix.}}{2}}{tg\alpha}$$

Atau,

$$x_{mix.} = \frac{d_{IR} + d_{ON} - 2d_{mix.}}{4 tg\alpha} \dots\dots\dots(4.11)$$

4.3.5.4 Reynolds Number Campuran Udara-Propana (Re_{mix})

Dari tabel III.10, IV.3, dan IV.4 diperoleh propertis udara dan propana, sbb :

- $\rho_a = 1,18 \text{ kg/m}^3$
- $\rho_f = 1,814 \text{ kg/m}^3$
- $v_a = 5,74 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{dtk}$
- $v_f = 8,36 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{dtk}$
- $u_a = 1,52 \text{ m/dtk}$
- $u_f = 27,13 \text{ m/dtk}$ (kondisi nyala api awal litloff)
- Sudut ring pengarah udara 0°

Dengan menggunakan persamaan 2.57 diperoleh kecepatan campuran udara-propana sbb :

Proyeksi kecepatan propana pada sumbu axis nozel (5°), u_{pf} sbb;

$$u_{pf} = (27,13)(\cos 5)$$

$$= 27,03 \text{ m/dtk}$$

$$u_{mix.} = \frac{1,18 \text{ kg/m}^3 \times 1,52 \text{ m/dtk} + 1,814 \text{ kg/m}^3 \times 27,03 \text{ m/dtk}}{1,18 \text{ kg/m}^3 + 1,814 \text{ kg/m}^3}$$

$$= 17 \text{ m/dtk}$$

Dengan menggunakan persamaan 2.58 dan 2.59 diperoleh viskositas campuran udara-propana sbb:

- Berat molekul udara = 28,97
- Berat molekul propana = 44,09
- Fraksi mole udara pada campuran udara-propana:
 $\chi_a = 15,83/16,83 = 0,941$
- Fraksi mole propana pada campuran udara-propana:
 $\chi_f = 1/16,83 = 0,059$

Untuk mempermudah perhitungan dipergunakan bantuan tabel dibawah ini.

Tabel IV.7. Propertis udara-propana

Species	Fraksi mol, χ	Berat molekul, M	Viskositas, $\nu (m^2 / dtk)$
1. Udara	0,941	28,97	$5,74 \times 10^{-6}$
2. Propana	0,059	44,09	$8,36 \times 10^{-6}$

Nilai Φ_{ij} dan $\sum_{j=1}^n \chi_i \Phi_{ij}$ diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.58 dan 2.59, seperti ditunjukkan tabel dibawah ini.

Tabel IV.8. Nilai Φ_{ij} dan $\sum_{j=1}^n \chi_i \Phi_{ij}$

i	j	M_i/M_j	M_j/M_i	ν_i/ν_j	Φ_{ij}	$\sum_{j=1}^n \chi_i \Phi_{ij}$
1	1	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99
	2	0,66	1,66	0,69	0,82	
2	1	1,52	0,66	1,46	0,97	0,972
	2	1,00	1,00	1,00	1,00	

Maka viskositas campuran udara-propana (persamaan 2.59), ν_{mix} :

$$\begin{aligned} \nu_{mix} &= \frac{(0,941)(8,36)(10^{-6})}{0,99} + \frac{(0,059)(5,74)(10^{-6})}{1,48} \\ &= 5,96 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{dtk} \end{aligned}$$

Dari tabel IV.5 diperoleh d_{mix} ring pengarah udara sudut 0° sebesar 7,9 mm dan dari persamaan 2.60 diperoleh *Reynolds number* campuran udara-propana, Re_{mix} :

$$\begin{aligned} Re_{mix} &= \frac{(17)(7,9)(10^{-3})}{(5,96)(10^{-6})} \\ &= 22.534 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama dengan perhitungan diatas diperoleh tabel pengaruh *Reynolds number* campuran udara-propana terhadap panjang nyala api difusi sbb:

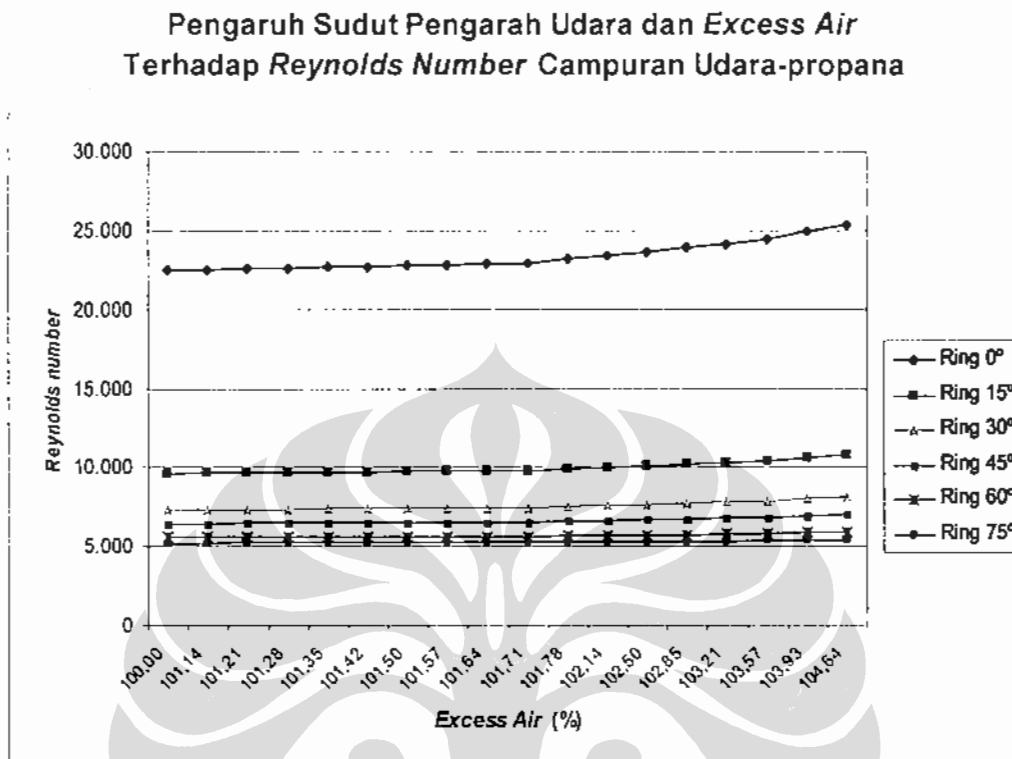
Tabel IV.9. Pengaruh *Reynolds number* campuran udara-propana, Re_{mix} terhadap jarak *lifted flame* dan panjang nyala api difusi.

Q_a (dm^3/dtk)	<i>Reynolds Number Mix.</i>										<i>Lifted Flame, x_f (mm)</i>										<i>PANJANG NYALA API, L_f (mm)</i>				
	SUDUT PENGARAH UDARA					SUDUT PENGARAH UDARA					SUDUT PENGARAH UDARA					SUDUT PENGARAH UDARA									
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	0°	15°	30°	45°	60°	75°	0°	15°	30°	45°	60°	75°	0°	15°	30°	45°	60°	75°	
0	0	0	0	0	0	0	105,1	105,1	105,1	105,1	106,3	104,7	344,9	345,0	344,9	344,9	343,8	345,3	344,9	345,0	344,9	344,9	343,8	345,3	
0,0191	22,499	9,671	7,370	6,482	5,595	5,269	74,4	75,0	69,2	70,5	76,6	70,9	359,0	398,3	396,2	396,2	393,8	390,7	398,3	396,2	396,2	393,8	390,7		
0,0203	22,549	9,692	7,384	6,493	5,602	5,273	71,8	86,7	78,2	65,4	70,3	73,3	384,6	355,0	388,5	401,3	403,1	383,7	355,0	388,5	401,3	403,1	383,7		
0,0215	22,598	9,713	7,398	6,503	5,608	5,276	75,6	86,7	73,1	74,4	81,3	79,1	365,4	361,7	405,1	407,7	393,8	374,4	361,7	405,1	407,7	393,8	374,4		
0,0227	22,648	9,734	7,412	6,513	5,614	5,279	76,9	86,7	69,2	66,7	70,3	82,6	359,0	393,3	388,5	410,3	393,8	372,1	393,3	388,5	410,3	393,8	372,1		
0,0239	22,698	9,754	7,426	6,524	5,621	5,282	75,6	75,0	74,4	70,5	81,3	80,2	350,0	380,0	388,5	389,7	375,0	373,3	380,0	388,5	389,7	375,0	373,3		
0,0251	22,748	9,775	7,441	6,534	5,627	5,285	75,6	80,0	78,2	76,9	79,7	83,7	355,4	375,0	401,3	391,0	398,4	367,4	375,0	401,3	391,0	398,4	367,4		
0,0263	22,798	9,796	7,455	6,544	5,633	5,288	75,6	73,3	78,2	70,5	75,0	79,1	369,2	375,0	403,8	376,9	389,1	387,2	369,2	403,8	376,9	389,1	387,2		
0,0275	22,848	9,817	7,469	6,554	5,640	5,291	75,6	86,7	83,3	75,6	79,7	88,4	356,4	365,0	384,6	388,5	393,8	381,4	365,0	384,6	388,5	393,8	381,4		
0,0287	22,898	9,837	7,483	6,565	5,646	5,294	80,8	80,0	79,5	74,4	82,8	79,1	353,8	373,3	393,6	394,9	381,3	372,1	373,3	393,6	394,9	381,3	372,1		
0,0299	22,948	9,858	7,498	6,575	5,652	5,297	78,2	81,7	88,5	70,5	76,6	72,1	361,5	371,7	376,9	394,9	390,6	365,1	371,7	376,9	394,9	390,6	365,1		
0,0359	23,197	9,962	7,569	6,626	5,684	5,313	82,1	75,0	80,8	74,4	75,0	83,7	370,5	365,0	388,5	382,1	398,4	362,8	365,0	388,5	382,1	398,4	362,8		
0,0419	23,447	10,066	7,640	6,678	5,715	5,328	74,4	75,0	78,2	71,8	75,0	79,1	350,0	378,3	396,2	388,5	404,7	365,1	378,3	396,2	388,5	404,7	365,1		
0,0479	23,697	10,169	7,711	6,729	5,747	5,344	74,4	76,7	74,4	75,6	76,6	79,1	378,2	371,7	398,7	384,6	379,7	367,4	371,7	398,7	384,6	379,7	367,4		
0,0539	23,946	10,273	7,782	6,780	5,779	5,360	76,9	81,7	82,1	76,9	75,0	77,9	361,5	363,3	385,9	389,7	381,3	375,6	363,3	385,9	389,7	381,3	375,6		
0,0599	24,196	10,377	7,853	6,832	5,810	5,375	74,4	85,0	79,5	76,9	81,3	73,3	356,4	356,7	382,1	396,2	389,1	383,7	356,7	382,1	396,2	389,1	383,7		
0,0659	24,445	10,481	7,924	6,883	5,842	5,391	84,6	88,3	78,2	75,6	76,6	82,6	366,4	373,3	387,2	391,0	398,4	372,1	373,3	387,2	391,0	398,4	372,1		
0,0779	24,944	10,688	8,067	6,986	5,905	5,422	76,9	88,3	78,2	76,9	82,8	82,6	359,0	378,3	388,5	394,9	387,5	374,4	378,3	388,5	394,9	387,5	374,4		
0,0899	25,443	10,896	8,209	7,089	5,968	5,453	76,9	81,7	74,4	79,5	76,6	79,1	357,7	373,3	385,9	389,7	390,6	375,6	373,3	385,9	389,7	390,6	375,6		

Ket. : - Laju aliran propana sebesar $0,069 dm^3/dtk$ (konstan)

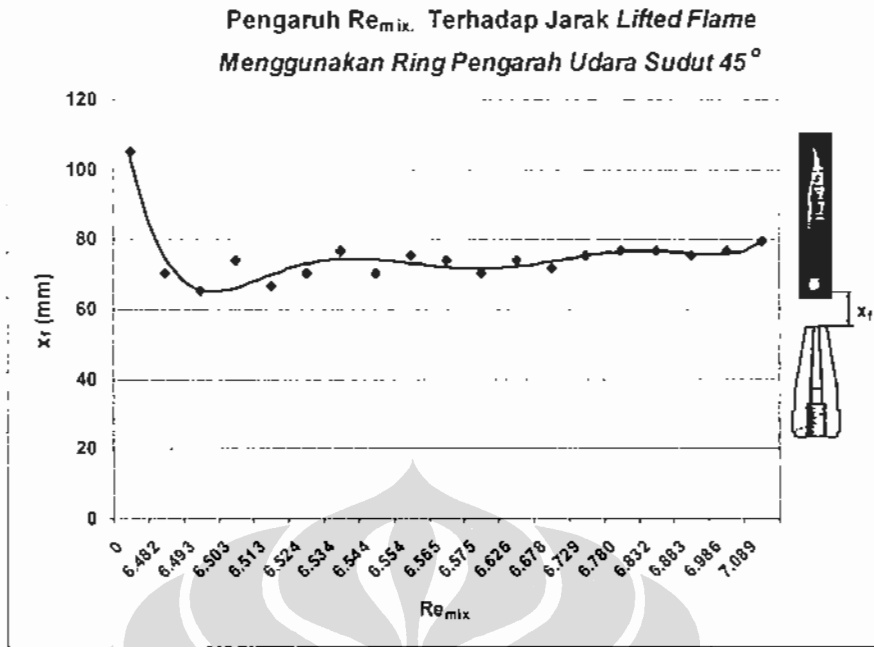
- Jarak *lifted flame* diperoleh dengan menggunakan *software adobe photoshop RGB total metode horizontal*.

Untuk mengetahui karakteristik Re_{mix} terhadap sudut ring pengarah udara tabel IV.9 diplot pada grafik dibawah ini.



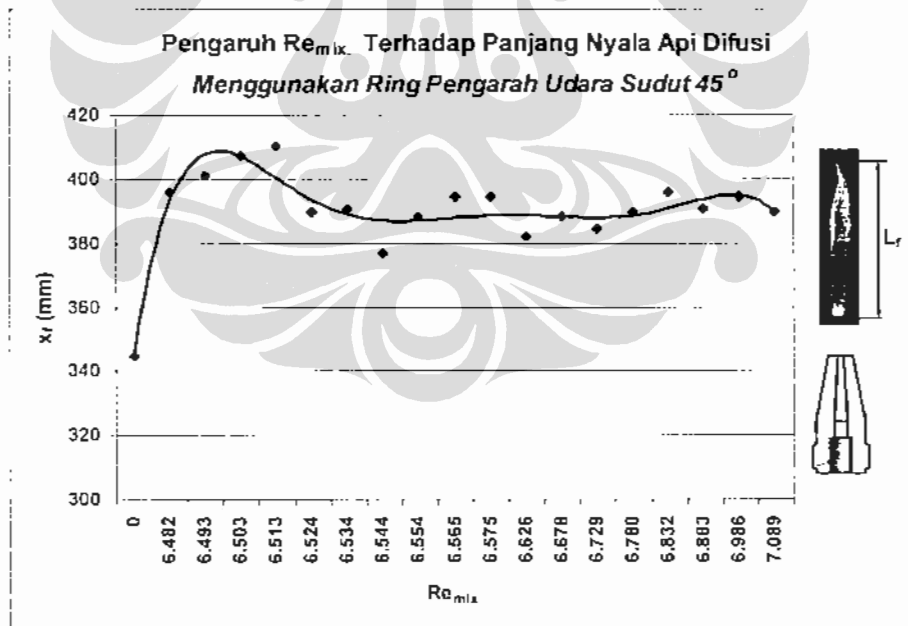
Gambar 4.17. Pengaruh sudut pengarah udara dan *excess air* terhadap Re_{mix} .

Gambar 4.17 menunjukkan bahwa *excess air* dan besar sudut ring pengarah udara mempengaruhi *Reynolds number* campuran udara-propana (Re_{mix}), Re_{mix} turun dengan kenaikan sudut ring pengarah udara dan naik mulai *excess air* $\geq 102,14\%$. Hal ini disebabkan diameter campuran udara semakin kecil dengan kenaikan sudut ring pengarah udara. Dari tabel IV.9 dan berdasarkan analisis pengaruh kecepatan campuran udara-propana bahwa Re_{mix} mempengaruhi jarak *lifted flame* dan panjang nyala api difusi untuk semua ring pengarah udara. Pengaruh terbesar Re_{mix} terhadap jarak *lifted flame* dan panjang nyala api difusi dihasilkan ring pengarah udara sudut 45° seperti ditunjukkan gambar dibawah ini.



Gambar 4.18. Pengaruh Re_{mix} terhadap jarak *lifted flame* menggunakan ring pengarah udara sudut 45°

Jarak *lifted flame* terdekat ke ujung nozel dihasilkan ring pengarah udara sudut 45° sebesar 65,4 mm pada Re_{mix} sebesar 6.493.



Gambar 4.19. Pengaruh Re_{mix} terhadap panjang nyala api difusi menggunakan ring pengarah udara sudut 45°

Panjang nyala api maksimum dihasilkan ring pengarah udara sudut 45° sebesar 410,3 mm pada Re_{mix} 6.513.

4.4 ANALISIS KORELASI PANJANG NYALA API DIFUSI

Korelasi sudut sembur udara, propana, diameter dan sudut ring pengarah udara serta diameter dan sudut sembur nozel terhadap panjang nyala api difusi pada $excess\ air \leq 101,35\%$ (pembahasan 4.3.5). Analisis diawal dari pengaruh sudut injeksi udara dan propana, diameter ring pengarah udara dan nozel terhadap d_{mix} . Dengan mensubtitusi persamaan 4.11 ke persamaan 4.6 diperoleh pengaruh sudut injeksi dan diameter ring pengarah udara serta sudut injeksi dan diameter nozel terhadap d_{mix} , sbb :

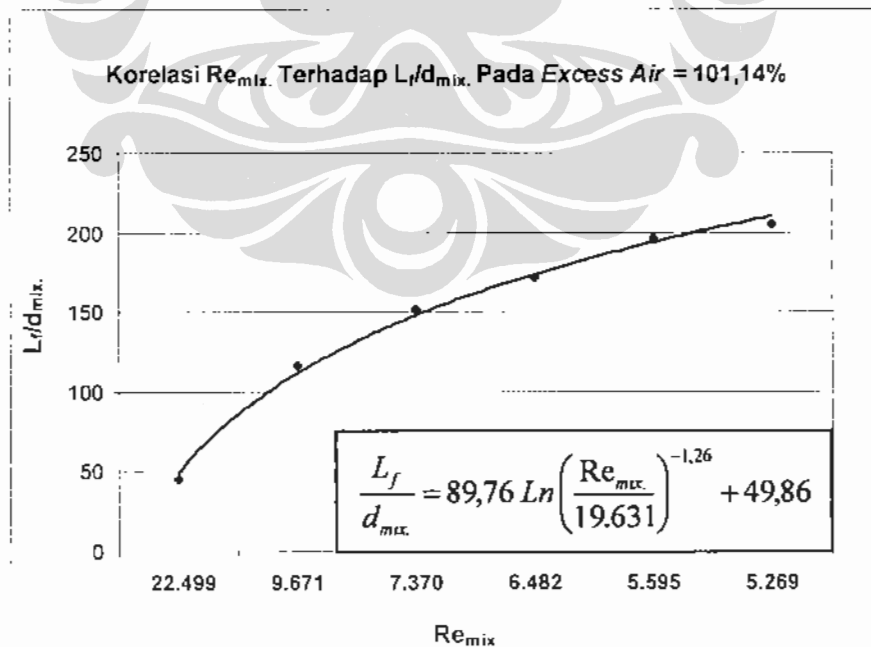
$$d_{mix} = \frac{d_{IR} + d_{ON} - 2d_{mix} \cdot \text{tg} \beta + d_{IN}}{2 \text{tg} \alpha}$$

Atau,

$$d_{mix} = \frac{(d_{IR} + d_{ON}) \text{tg} \beta + 2d_{IN} \text{tg} \alpha}{2(\text{tg} \alpha + \text{tg} \beta)} \dots \dots \dots (4.12)$$

Fluktuasi terbesar panjang nyala api difusi (tabel IV.10) untuk semua ring pengarah udara ($0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ dan 75°) terjadi pada $excess\ air \leq 101,35\%$, maka analisis korelasi L_f/d_{mix} terhadap Re_{mix} pada $excess\ air \leq 101,35\%$ sbb :

4.4.1 Korelasi Re_{mix} Terhadap L_f/d_{mix} Pada $Excess\ Air = 101,14\%$

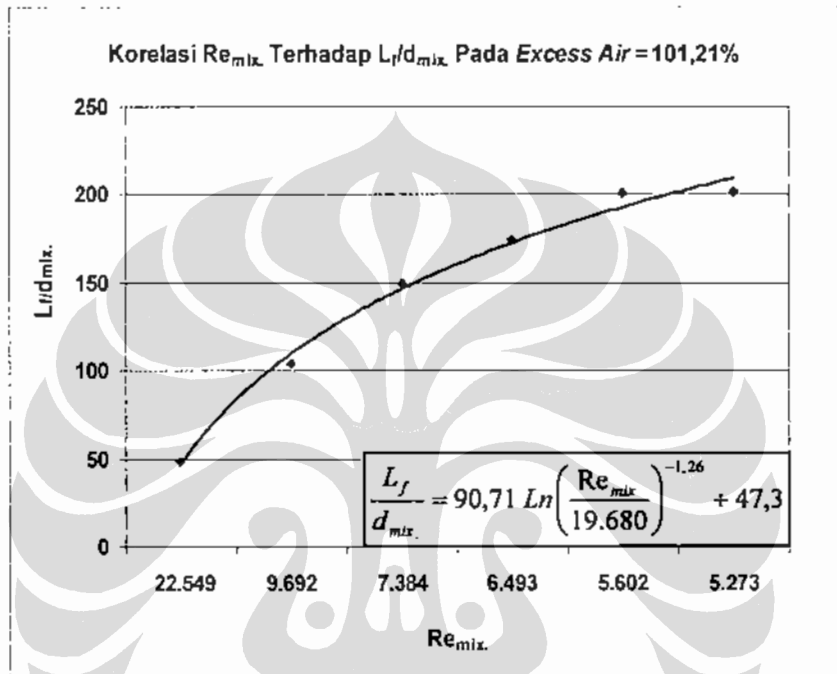


Gambar 4.20. Korelasi Re_{mix} terhadap L_f/d_{mix} pada $excess\ air = 101,14\%$

Dari gambar 4.20 diperoleh korelasi L_f/d_{mix} terhadap Re_{mix} pada *excess air* = 101,14% .

$$\frac{L_f}{d_{mix}} = 89,76 \operatorname{Ln} \left(\frac{Re_{mix}}{19.631} \right)^{-1,26} + 49,86 \dots\dots\dots(4.13)$$

4.4.2 Korelasi Re_{mix} Terhadap L_f/d_{mix} Pada *Excess Air* = 101,21%

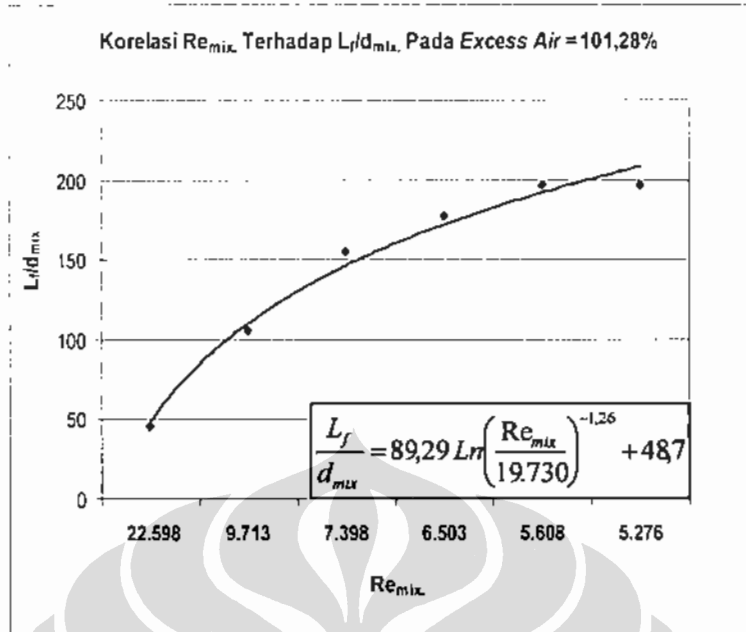


Gambar 4.21. Korelasi Re_{mix} Terhadap L_f/d_{mix} pada *excess air* = 101,21%.

Dari gambar 4.21 diperoleh korelasi Re_{mix} terhadap L_f/d_{mix} pada *excess air* = 101,21% sbb :

$$\frac{L_f}{d_{mix}} = 90,71 \operatorname{Ln} \left(\frac{Re_{mix}}{19.680} \right)^{-1,26} + 47,3 \dots\dots\dots (4.14)$$

4.4.3. Korelasi Re_{mix} Terhadap L_f/d_{mix} Pada *Excess Air* = 101,28%

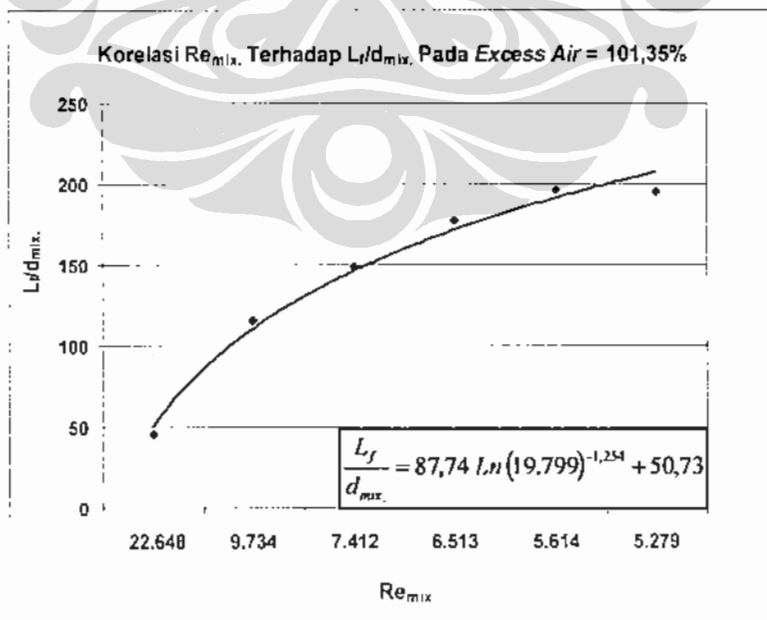


Gambar 4.22. Korelasi L_f/d_{mix} terhadap Re_{mix} pada *excess air* = 101,28%

Dari gambar 4.22 diperoleh korelasi Re_{mix} terhadap L_f/d_{mix} pada *excess air* 101,28% sbb:

$$\frac{L_f}{d_{mix}} = 89,29 \ln \left(\frac{Re_{mix}}{19.730} \right)^{-1,26} + 48,7 \dots\dots\dots (4.15)$$

4.4.4 Korelasi Re_{mix} Terhadap L_f/d_{mix} Pada *Excess Air* = 101,35%



Gambar 4.23. Korelasi Re_{mix} terhadap L_f/d_{mix} pada *excess air* = 101,35%

Dari gambar 4.23 diperoleh korelasi Re_{mix} terhadap L_f/d_{mix} pada *excess air* = 101,35% sbb :

$$\frac{L_f}{d_{mix}} = 87,74 \ln (19.799)^{-1,254} + 50,73 \quad \dots\dots\dots (4.16)$$

4.5. KOEFISIEN KETEPATAN KORELASI Re_{mix} TERHADAP L_f/d_{mix} .

Untuk mengetahui ketelitian L_f/d_{mix} hasil korelasi terhadap hasil eksperimen, maka dilakukan analisis koefisien korelasi sbb:

Contoh perhitungan, ring pengarah udara sudut 30° sbb :

- L_f/d_{mix} hasil eksperimen pada *excess air* = 101,14% (tabel IV.5) sebesar 152
- L_f/d_{mix} pada *excess air* = 101,14% hasil perhitungan sbb:
- Diameter dalam ring pengarah udara, $d_{IR} = 10 \text{ mm}$
- Diameter luar ujung nozel, $d_{ON} = 6 \text{ mm}$
- Diameter dalam nozel, $d_{IN} = 1,8 \text{ mm}$
- Sudut sembur nozel, $\beta = 5^\circ$
- Dengan menggunakan persamaan 4.12 diperoleh d_{mix} sbb :

$$d_{mix} = \frac{(10 + 6) \text{ tg } 5 + 2 \times 1,8 \text{ tg } 30}{2(\text{tg } 30 + \text{tg } 5)} \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$= 2,6 \times 10^{-3} \text{ m}$$

- Dengan cara yang sama pada pembahasan 4.3.5.4. diperoleh u_{mix} dan v_{mix} sbb:
 - $u_{mix} = 16,9 \text{ m/dtk}$
 - $v_{mix} = 5,96 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{dtk}$
- Maka *Reynolds number* campuran udara-propana :

$$Re_{mix} = \frac{(16,9)(2,6 \times 10^{-3})}{5,96 \times 10^{-6}}$$

$$= 7.372$$

- Maka diperoleh L_f/d_{mix} menggunakan persamaan 4.13 sbb :

$$\frac{L_f}{d_{mix}} = 87,76 \ln \left(\frac{7.372}{19.631} \right)^{-1,26} + 49,86$$

$$= 158,2$$

Dengan cara yang sama diperoleh nilai L_f/d_{mix} hasil prediksi menggunakan persamaan 4.13 s/d 4.16 sbb :

Tabel IV.10 : Nilai L_f/d_{mix} hasil eksperimen dan prediksi

L_f/d_{mix} Hasil Eksperimen				L_f/d_{mix} Hasil Prediksi			
Excess Air (%)				Excess Air (%)			
101,14	101,21	101,28	101,35	101,14	101,21	101,28	101,35
45,4	48,7	46,3	45,4	33,0	30,3	32,0	34,4
117,2	104,4	106,4	115,7	132,4	130,8	130,9	131,2
152,4	149,4	155,8	149,4	160,0	158,6	158,2	158,0
172,2	174,5	177,3	178,4	175,2	174,1	173,4	173,0
196,9	201,6	196,9	196,9	186,4	185,4	184,8	184,0
205,6	202,0	197,1	195,8	196,1	195,3	194,6	193,7
\bar{L}_f/\bar{d}_{mix}	148,3	146,7	146,6	146,9			

Dari tabel IV.10 diperoleh nilai $\sum_i^n \left((L_f/d_{mix})_{i,eksp.} - (\bar{L}_f/\bar{d}_{mix})_{eksp.} \right)^2$ dan $\sum_i^n \left((L_f/d_{mix})_{i,eksp.} - (L_f/d_{mix})_{prediksi} \right)^2$ seperti ditunjukkan tabel dibawah ini.

Tabel IV.11. Nilai koefisien ketepatan korelasi

$\left((L_f/d_{mix})_{Eksp} - (L_f/d_{mix})_{Eksp \text{ rata-rata}} \right)^2$				$\left((L_f/d_{mix})_{Eksp} - (L_f/d_{mix})_{Prediksi} \right)^2$				
Excess Air (%)				Excess Air (%)				
101,14	101,21	101,28	101,35	101,14	101,21	101,28	101,35	
10.580	9.607	10.070	10.580	154	338	203	121	
970	1.788	1.618	1.064	233	695	602	239	
17	7	85	1	58	85	5	75	
573	771	940	904	9	0	15	29	
2.360	3.010	2.528	2.360	110	260	145	165	
3.287	3.053	2.546	2.260	90	44	6	5	
\sum	17.887	18.338	17.888	17.270	654	1.421	975	634

Nilai koefisien korelasi (r) persamaan 4.13 s/d 4.16 dapat diperoleh menggunakan persamaan dibawah ini sbb [40] :

$$r^2 = \frac{\sum_i^n \left((L_f/d_{mix})_{i,eksp.} - (\bar{L}_f/\bar{d}_{mix})_{eksp.} \right)^2 - \sum_i^n \left((L_f/d_{mix})_{eksp.} - (L_f/d_{mix})_{prediksi} \right)^2}{\sum_i^n \left((L_f/d_{mix})_{i,eksp.} - (\bar{L}_f/\bar{d}_{mix})_{eksp.} \right)^2} \quad (4.17)$$

Dengan menggunakan persamaan 4.17 diperoleh koefisien korelasi $R_{c_{mix}}$ terhadap L_f/d_{mix} untuk excess air 101,14%, 101,21%, 101,28% dan 101,35% sbb:

- Koefisien korelasi $\frac{L_f}{d_{mix}} = 89,76 \ln\left(\frac{Re_{mix}}{19.631}\right)^{-1,26} + 49,86$ (*excess air* = 101,14%):

$$r^2 = \frac{17.887 - 654}{17.887} = 0,963$$

$$r = 0,982$$

Koefisien korelasi atau ketepatan L_f/d_{mix} hasil prediksi terhadap hasil eksperimen sebesar 0,965 atau ketidaktepatan (*error*) sebesar 0,018 (1,8%).

- Koefisien korelasi $\frac{L_f}{d_{mix}} = 90,71 \ln\left(\frac{Re_{mix}}{19.680}\right)^{-1,26} + 47,3$ (*excess air* = 101,21%):

$$r^2 = \frac{18.338 - 1.421}{18.338} = 0,923$$

$$r = 0,961$$

Koefisien korelasi atau ketepatan L_f/d_{mix} hasil prediksi terhadap hasil eksperimen sebesar 0,956 atau ketidaktepatan (*error*) sebesar 0,039 (3,9%).

- Koefisien korelasi $\frac{L_f}{d_{mix}} = 89,29 \ln\left(\frac{Re_{mix}}{19.730}\right)^{-1,26} + 48,7$ (*excess air* = 101,28%):

$$r^2 = \frac{17.888 - 975}{17.888} = 0,945$$

$$r = 0,972$$

Koefisien korelasi atau ketepatan L_f/d_{mix} hasil prediksi terhadap hasil eksperimen sebesar 0,97 atau ketidaktepatan (*error*) sebesar 0,028 (2,8%).

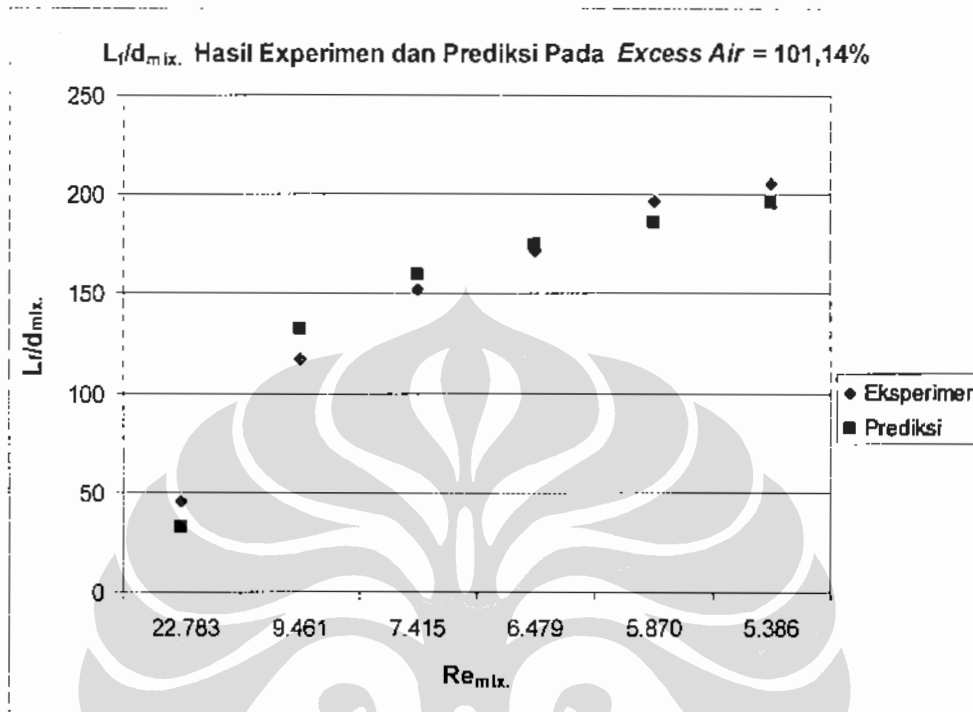
- Koefisien korelasi $\frac{L_f}{d_{mix}} = 87,74 \ln(19.799)^{-1,251} + 50,73$ (*excess air* = 101,35%):

$$r^2 = \frac{17.270 - 634}{17.270} = 0,963$$

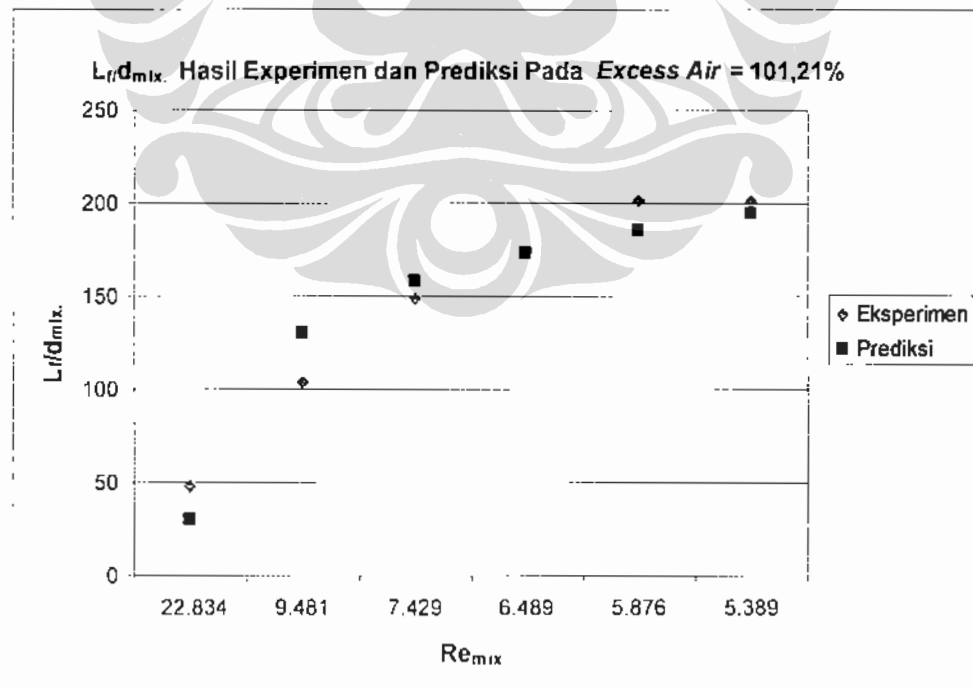
$$r = 0,981$$

Koefisien korelasi atau ketepatan L_f/d_{mix} hasil prediksi terhadap hasil eksperimen sebesar 0,979 atau ketidaktepatan (*error*) sebesar 0,019 (1,9%).

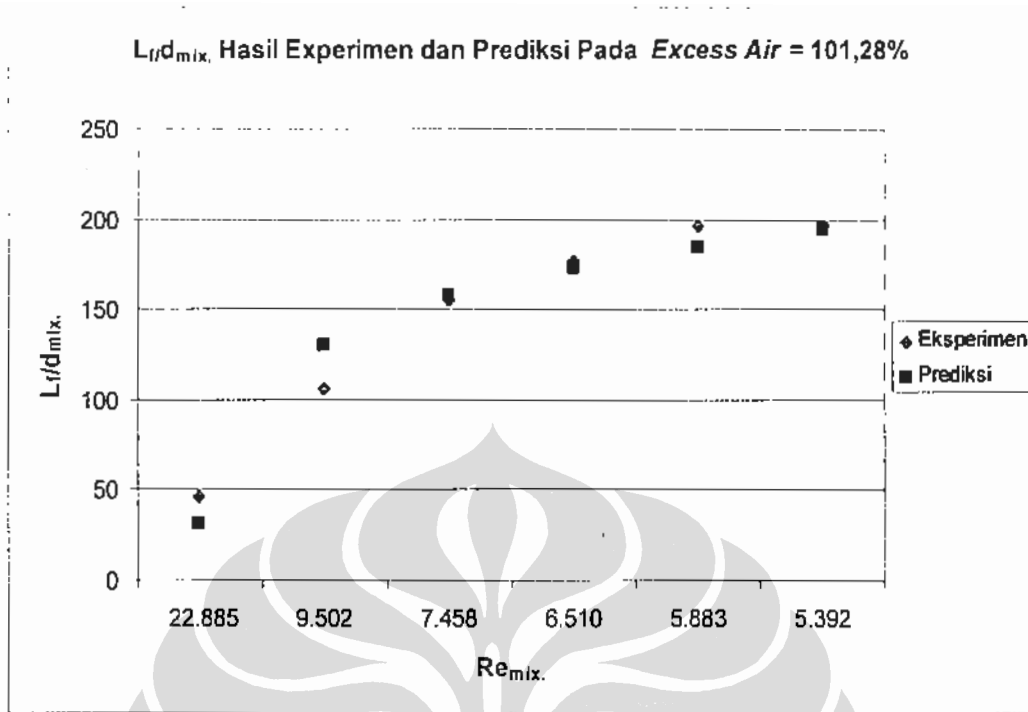
Untuk lebih jelasnya hasil korelasi Re_{mix} terhadap L_f/d_{mix} (persamaan 4.13 s/d 4.16) di plot dengan L_f/d_{mix} hasil eksperimen (tabel IV.10) ditunjukkan gambar dibawah ini.



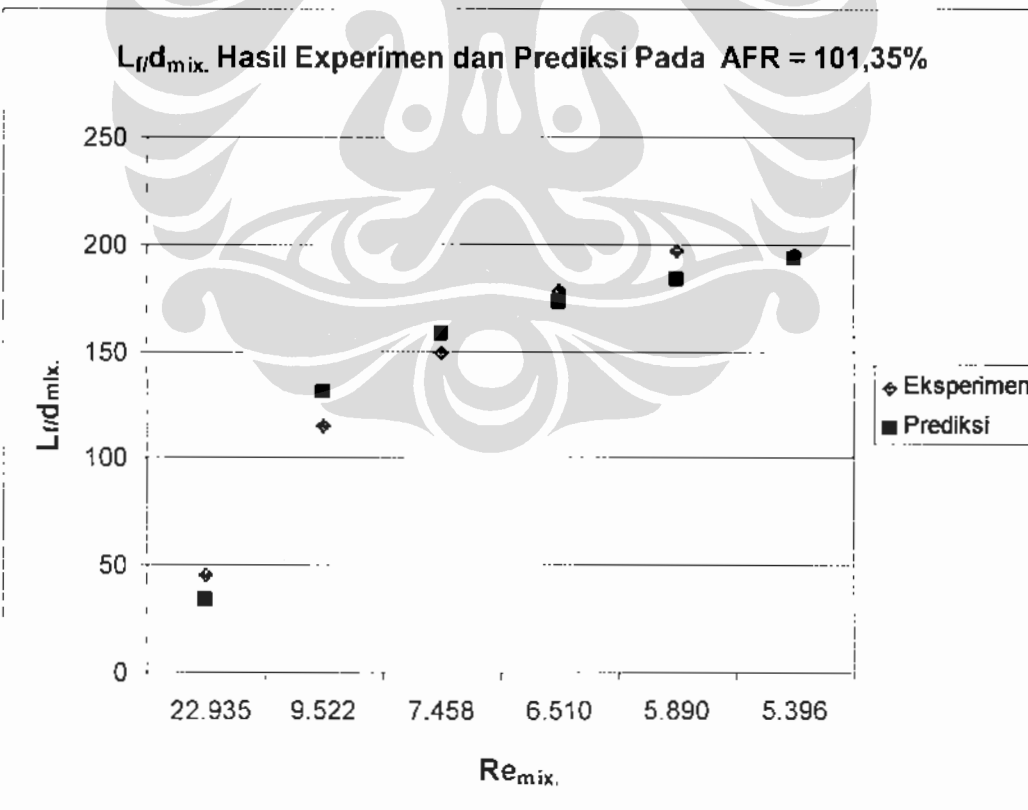
Gambar 4.24. L_f/d_{mix} hasil eksperimen dan prediksi pada *excess air* =101.14%



Gambar 4.25. L_f/d_{mix} hasil eksperimen dan prediksi pada *excess air* =101.21%



Gambar 4.26. L_f/d_{mix} hasil eksperimen dan prediksi pada *excess air* =101,28%



Gambar 4.27. L_f/d_{mix} hasil eksperimen dan prediksi pada *excess air* =101,35%.

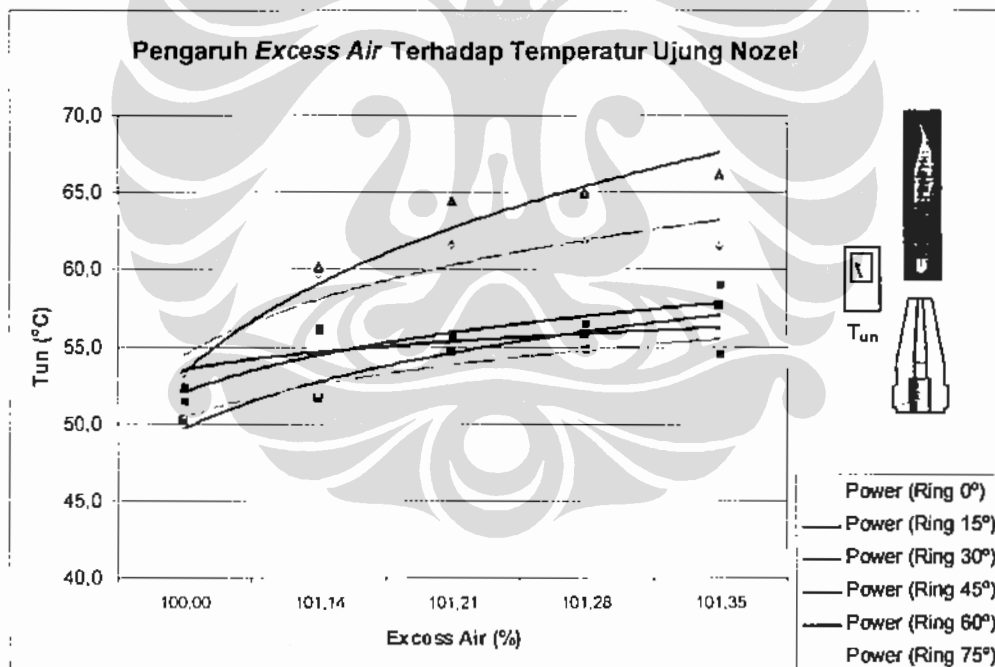
4.6 TEMPERATUR UJUNG NOZEL

Kenaikkan temperatur ujung nozel proporsional terhadap perubahan panjang nyala api difusi (lampiran 5) dan panjang nyala api dipengaruhi oleh *excess air* $\leq 101,35\%$, berdasarkan alasan ini temperatur ujung nozel (tabel III.4 s/d III.9) diplot terhadap *excess air* $\leq 101,35$ untuk semua ring pengarah udara, ditunjukkan tabel dibawah ini.

Tabel IV.12 : Pengaruh *excess air* terhadap temperatur ujung nozel

Excess Air (%)	TEMPERATUR NOZEL (°C)					
	SUDUT RING PENGARAH UDARA					
	0°	15°	30°	45°	60°	75°
100,00	53,3	50,3	52,4	52,4	51,5	51,1
101,14	59,7	51,7	60,2	56,3	56,2	51,9
101,21	61,7	54,7	64,5	56,0	55,7	52,8
101,28	61,9	55,9	65,0	56,6	55,0	55,3
101,35	61,6	57,7	66,2	54,6	59,1	56,2

Data tabel IV.11 diplot dalam gambar dibawah ini dan diperoleh pengaruh *excess air* terhadap temperatur ujung nozel sbb :

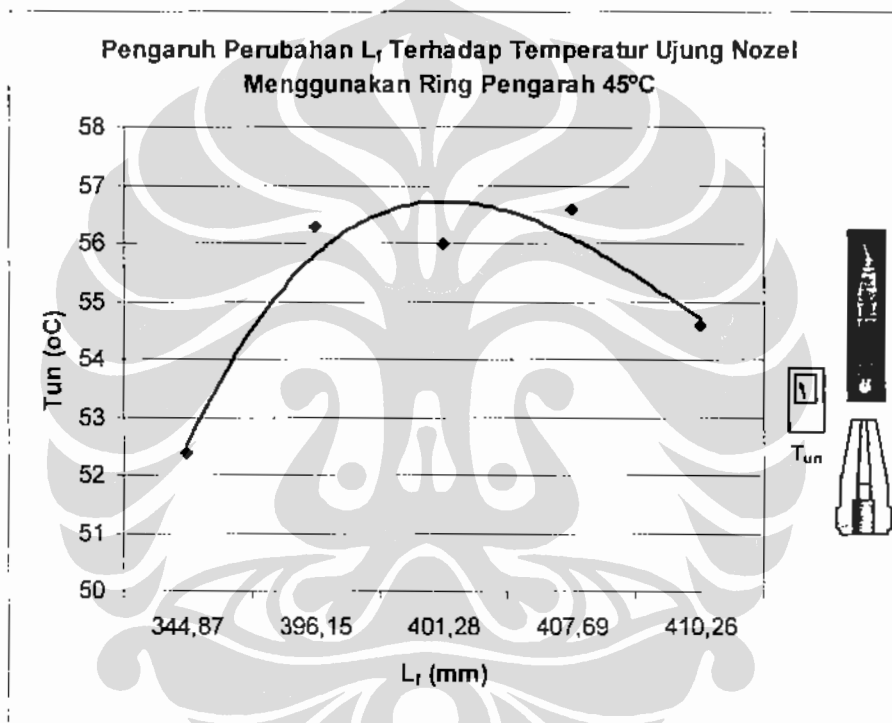


Gambar 4.28. Pengaruh *excess air* terhadap temperatur ujung nozel.

Gambar 4.28 menyatakan bahwa semakin besar sudut ring pengarah udara maka temperatur ujung nozel semakin kecil untuk seluruh kenaikan *excess air*. Untuk *excess air* $\leq 101,35\%$, temperatur ujung nozel (T_{un}) masing-masing ring sbb:

- Ring 0° sebesar $61,6^\circ\text{C}$ dengan kenaikan $8,3^\circ\text{C}$.
- Ring 15° sebesar $57,7^\circ\text{C}$ dengan kenaikan $7,4^\circ\text{C}$.
- Ring 30° sebesar $66,2^\circ\text{C}$ dengan kenaikan $13,8^\circ\text{C}$.
- Ring 45° sebesar $54,6^\circ\text{C}$ dengan kenaikan $2,2^\circ\text{C}$.
- Ring 60° sebesar $59,1^\circ\text{C}$ dengan kenaikan $7,6^\circ\text{C}$.
- Ring 75° sebesar $56,2^\circ\text{C}$ dengan kenaikan $5,1^\circ\text{C}$.

Perubahan panjang nyala api difusi mempengaruhi temperatur ujung nozel, untuk perubahan panjang nyala api difusi yang dihasilkan ring 45° seperti ditunjukkan gambar 4.29 dibawah ini.



Gambar 4.29 Pengaruh perubahan L_r terhadap temperatur ujung nozel menggunakan ring pengarah 45°

4.7 KECEPATAN PEMBAKARAN

Kecepatan pembakaran merupakan indikator yang menyatakan bahwa apakah suatu bahan bakar itu lebih cepat bereaksi. Semakin tinggi kecepatan pembakaran maka semakin sempurna reaksi bahan bakar-oksidator, artinya semakin sedikit kemungkinan bahan bakar tidak beraksi (terbakar) dan terlepas bersama gas buang. Analisis perubahan panjang nyala api difusi terhadap kecepatan pembakaran ditunjukkan persamaan dibawah ini.

- Contoh perhitungan kecepatan pembakaran untuk ring pengarah udara 30° dengan *excess air* = 101,14% sbb:

Tinggi nyala api difusi, H_f (tabel IV.9) = 46,54 cm

Panjang nyala api difusi, L_f (tabel IV.9) = 39,6 cm

Diameter nyala api difusi, d_f (berdasarkan pembahasan 4.4), ditunjukkan tabel dibawah ini.

Tabel IV.13 : Diameter nyala api difusi bahan bakar propana

Excess Air (%)	DIAMETER NYALA API DIFUSI, d_f (cm)					
	SUDUT PENGARAH UDARA					
	0°	15°	30°	45°	60°	75°
100,00	4,21	4,27	4,10	4,13	4,19	4,02
101,14	4,21	4,84	4,10	4,00	4,52	4,15
101,21	4,21	4,84	4,23	3,50	4,68	3,54
101,28	4,08	4,35	3,97	3,88	4,35	3,66
101,35	4,34	4,52	3,97	3,50	4,52	3,90

Dari tabel IV.13 diperoleh diameter nyala api difusi = 4,1 cm.

Berdasarkan pembahasan 4.3.5.4 diperoleh kecepatan campuran udara-propana u_{mx} , sbb:

$$u_{mx} = 168,93 \text{ cm/dtk}$$

- Waktu yang dibutuhkan (t) element bahan bakar mencapai ujung nyala api (persamaan 2.54), sbb:

$$t = \frac{46,54 \text{ cm}}{168,93 \text{ cm/dtk}} = 0,275 \text{ dtk}$$

- Kecepatan pembakaran laminar nyala api difusi (persamaan 2.51 dan 2.52)

:

$$S_L = \frac{4,1 \text{ cm}}{0,275 \text{ dtk}} = 14,88 \text{ cm/dtk}$$

- Dengan menggunakan persamaan 2.52 diperoleh kecepatan rata-rata campuran udara-propana u'_{rms} :

$$u'_{rms} = \frac{39,62}{0,275} = 144,1 \text{ cm/dtk}$$

- Maka kecepatan pembakaran turbulen, S_T sbb :

$$S_T = 14,88 \left[1 + \left(\frac{2 \times 144,1}{14,88} \right)^2 \right]^{1/2} \text{ cm / dtk}$$

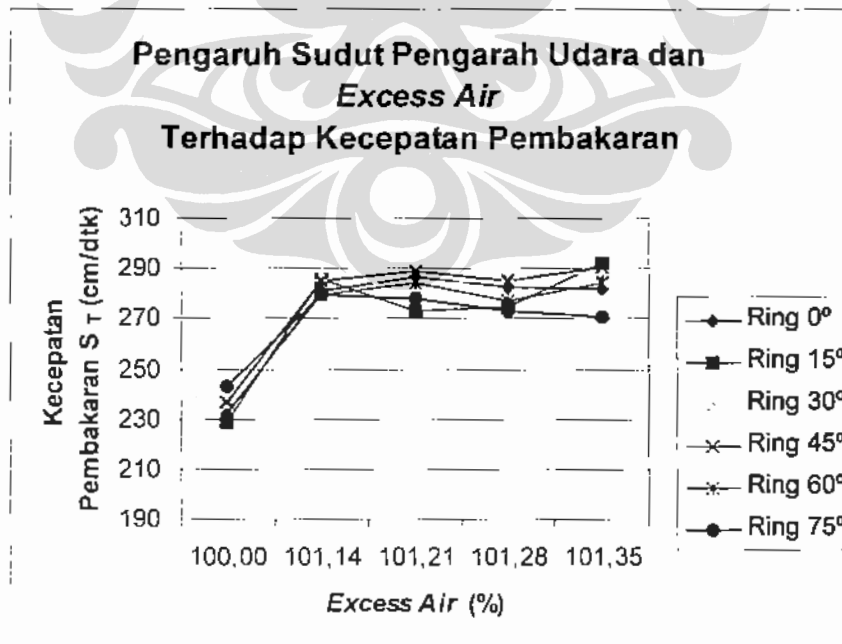
$$= 288,6 \text{ cm / dtk}$$

Dengan cara yang sama dengan perhitungan diatas diperoleh tabel kecepatan pembakaran turnulen untuk untuk semua ring pengarah udara, sbb :

Tabel IV.14. Kecepatan pembakaran turbulen nyala api difusi

Excess Air (%)	Kecepatan Pembakaran, S_T (cm/dtk)					
	Sudut Pengarah Udara					
	0°	15°	30°	45°	60°	75°
100,00	232,39	229,03	238,49	237,19	232,57	243,44
101,14	281,70	285,87	287,99	285,56	279,65	280,19
101,21	287,14	273,75	282,21	289,62	284,75	278,05
101,28	282,94	275,19	287,69	285,36	277,48	273,60
101,35	281,94	292,27	288,80	290,64	284,38	271,41

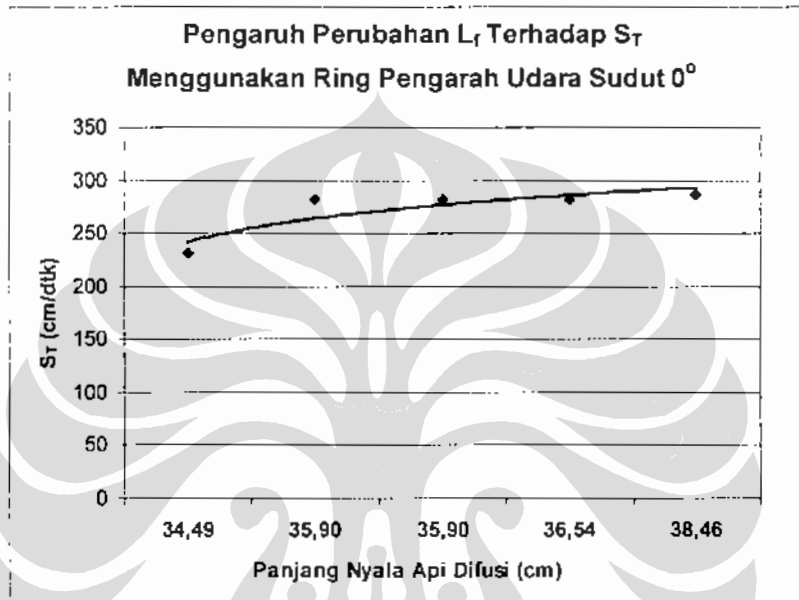
Berdasarkan tabel IV.14 dapat diketahui bahwa kecepatan pembakaran pada *excess air* $\leq 101,35\%$ terjadi peningkatan kecepatan pembakaran untuk semua ring pengarah udara dibandingkan nyala api difusi tanpa injeksi udara, seperti ditunjukkan gambar dibawah ini. Kecepatan pembakaran nyala api difusi yang dihasilkan ring pengarah udara sudut 45° sebesar 290,64 cm/dtk.



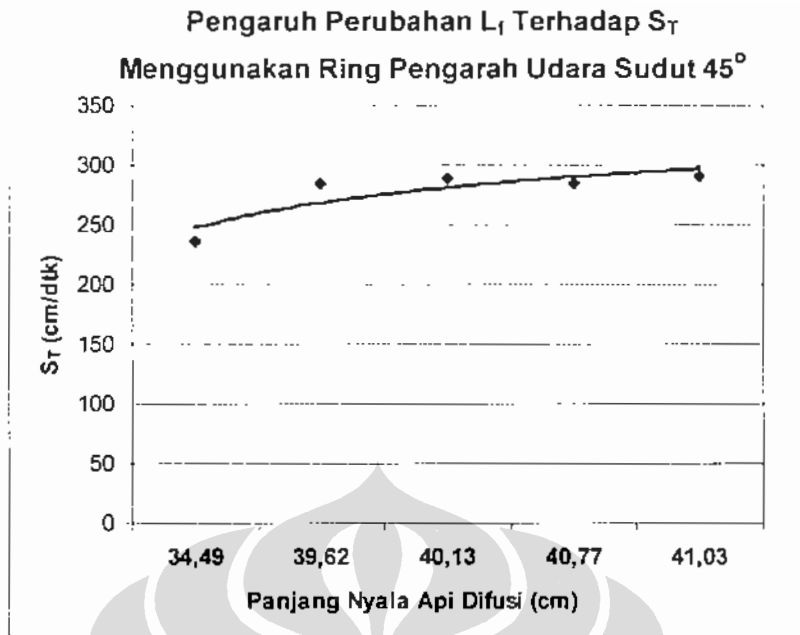
Gambar 4.30. Pengaruh sudut pengarah udara dan *excess air* terhadap kecepatan pembakaran.

Gambar 4.30 menunjukkan bahwa dengan meng-injeksikan udara ke arah semburan propana dapat memperpanjang nyala api difusi dan kecepatan pembakaran bertambah (pada $excess\ air \leq 101,35\%$) dari nyala api difusi tanpa injeksi udara.

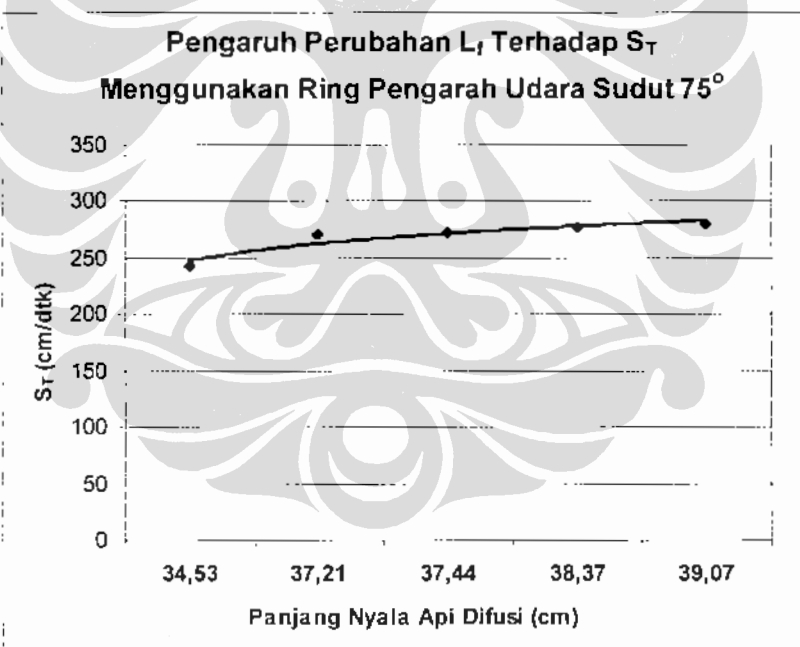
Pengaruh perubahan panjang nyala api difusi terhadap kecepatan pembakaran ditunjukkan gambar dibawah ini, untuk perubahan panjang nyala api difusi yang dihasilkan ring pengarah udara sudut 0° , 45° , dan 75° .



Gambar 4.31. Pengaruh perubahan panjang nyala api difusi terhadap kecepatan pembakaran menggunakan ring sudut 0° .



Gambar 4.32. Pengaruh perubahan panjang nyala api difusi terhadap kecepatan pembakaran menggunakan ring sudut 45° .



Gambar 4.33. Pengaruh perubahan panjang nyala api difusi terhadap kecepatan pembakaran menggunakan ring sudut 75° .

Kecepatan pembakaran maksimum dihasilkan ring pengarah udara sudut 45° sebesar 290,64 cm/dtk.